



**KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

**Zentralinstitut für Angewandte Mathematik**

**Ein Programm zur optimalen Regelung  
von Xenonschwingungen**

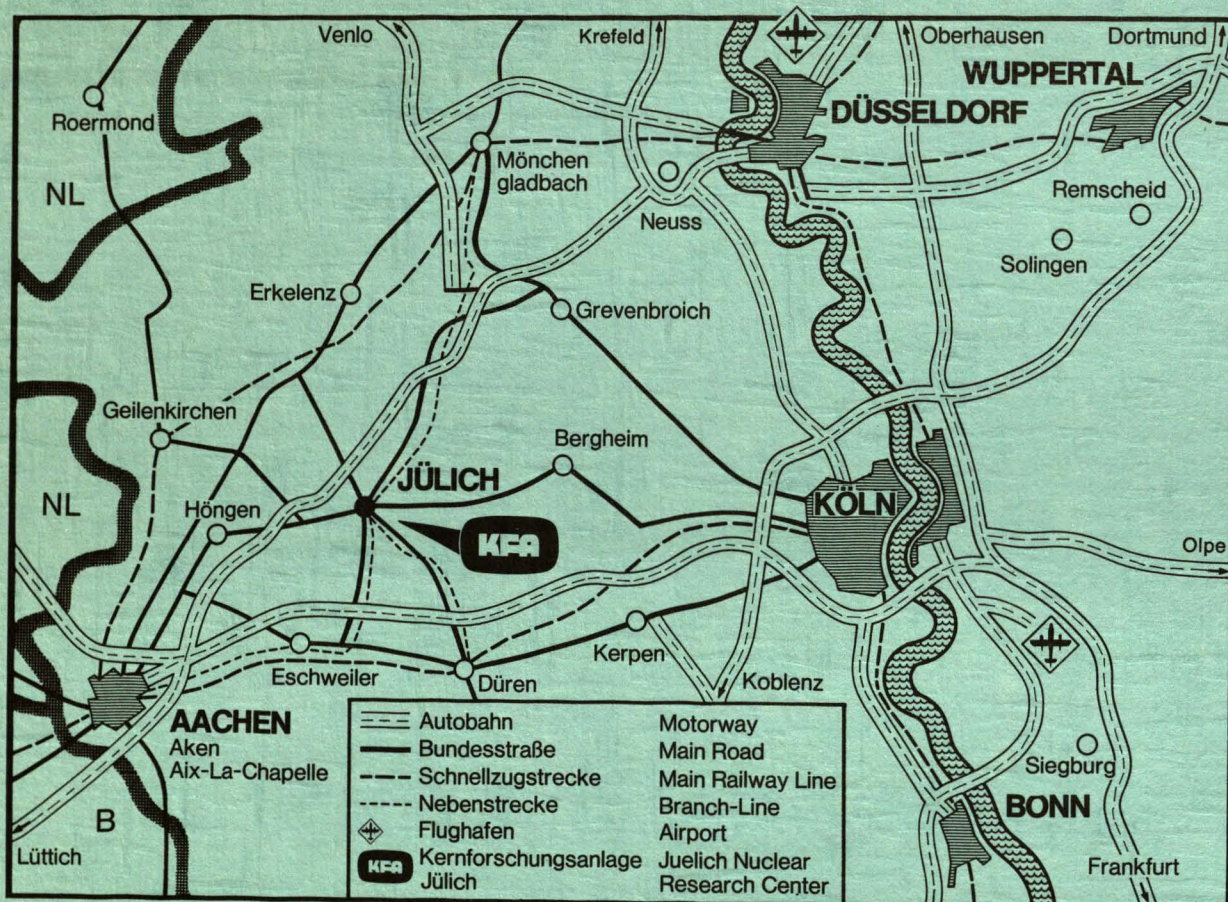
von

R.-D. Kaussen

**Jül - 1370  
Dezember 1976**

Als Manuskript gedruckt





**Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 1370**  
 Zentralinstitut für Angewandte Mathematik Jül – 1370

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,  
 Jülich, Bundesrepublik Deutschland



# **Ein Programm zur optimalen Regelung von Xenonschwingungen**

von

R.-D. Kaussen

## Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt ein Programm zur optimalen Regelung von Xenonschwingungen für einen eindimensionalen Plattenreaktor. Dabei wird das Problem der optimalen Regelung als Minimierungsproblem mit integralem Funktional behandelt [1,2].

Das erste Kapitel enthält die Aufgabenstellung; im zweiten Kapitel wird eine Strategie entwickelt, die es ermöglicht, ohne aufwendige Vorabrechnungen das Fahren der Regelstäbe, Stabstärke und Stabpositionierung formelmäßig so anzugeben, daß die Ergebnisse dem im Sinne des Minimierungskriteriums gewünschten Optimum recht nahe kommen. Das dritte Kapitel befaßt sich mit der Beschreibung und Benutzung des Programms. Anschließend wird an einem Beispiel die Wirkungsweise des Programms veranschaulicht.

## Abstract

A program for computing the optimal control of Xenon included oscillations of a one dimensional slab reactor is given. The optimal control problem is formulated according to [1,2] as a Minimization problem of an integral functional.

The problem is described in chapter I. In the second chapter, a strategy is developed which gives the possibility to calculate minimal values for the positioning and strength of the control rods approximating the optimal parameters such that excessive calculations are avoided. The resulting program is presented and described in the third chapter. An illustrative example demonstrates the efficiency of the program.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kap. I <u>PROBLEMSTELLUNG</u>	
§ 1    Einführung	1
§ 2    Ausgangsgleichungen	2
§ 3    Bedeutung der Größen und Konstanten	3
§ 4    Optimierungskriterium	4
Kap. II <u>Lösungsmethode</u>	
§ 5    Anfangswerte, Randwerte, stationäre Werte	5
§ 6    Lösung der Differentialgleichungen	7
§ 7    Optimierungsmethode	9
Kap. III <u>Programmbeschreibung und -anwendung</u>	
§ 8    Übersicht	12
§ 9    Programmablauf	14
§ 10   Erläuterungen	15
§ 11   Regelfunktion und Regelstrategie	17
§ 12   Aufruf des Programms	19
§ 13   Datenaufbereitung, Speicherplatz, Rechenzeit	21
Kap. IV <u>Beispiel</u>	
§ 14   Eingabedaten	23
§ 15   Abbildungen	25
§ 16   Programmausgabe	32

Anhang:    Programmliste

Literaturverzeichnis

## Kap. I: PROBLEMSTELLUNG

### § 1. Einführung

Bei großen Leistungsreaktoren können durch den großen Absorptionsquerschnitt des Zerfallproduktes Xenon, welches verzögert aus dem Spaltprodukt Jod entsteht, Flußschwingungen auftreten, die man durch geeignete Regelung zu vermeiden sucht.

Dieser Bericht beschreibt die programm- und anwendungstechnischen Einzelheiten bei der optimalen Regelung von Xenonschwingungen großer Leistungsreaktoren. Er stellt eine Fortsetzung und Ergänzung zu [1,2] dar.

Das Programm "XENON" zur optimalen Regelung von Xenonschwingungen ist modular aufgebaut und besitzt damit eine große Flexibilität. Der Rechenablauf ist parametergesteuert, so daß unnötige Rechnungen ohne Mehraufwand vermieden werden können. Durch umfangreiche Vorabrechnungen konnten für die optimale Regelung Konstanten ermittelt werden, die eine Regelstrategie ermöglichen, wodurch sich der Rechenaufwand des Programms erheblich verringert. Dabei muß erwähnt werden, daß wegen der Methode des systematischen Suchens die Bestimmung dieser Konstanten zeitaufwendig ist; jedoch war es erforderlich, eine Anzahl von Fällen auf diese Weise durchzurechnen, um eine für die Strategie höchstmögliche Genauigkeit zu erreichen. Es ist vorgesehen, durch Bestimmung weiterer Relationen zwischen diesen Konstanten und Reaktordaten die Vorabrechnung beträchtlich zu verringern.

Andererseits ermöglicht es das Programm, eine vorgegebene Strategie durchzurechnen, wobei deren Ergebnisse auf ihre Güte untersucht werden können.

Das Outputformat ist sowohl in der dreidimensionalen Darstellung als auch in der Kurvendarstellung variabel. Die Darstellungsmöglichkeiten sind weitgehend automatisiert; spezielle Formatanforderungen können infolge des gewählten modularen Aufbaus des Programms leicht zusätzlich realisiert werden. Implementiert ist nur der eindimensionale Fall, die verwendete Numerik bleibt jedoch auch bei mehrdimensionaler Diskretisierung gültig.

Das Programm ist ausbaufähig; so sind z.B. geänderte Einflußfunktionen zur Strategie leicht hinzuzufügen, wobei im mehrdimensionalen Fall die Ergebnisse auch wieder auf Optimalität untersucht werden können.

## § 2. Ausgangsgleichungen

Ausgangspunkt für die Xenonschwingungen [2] sind die Diffusionsgleichung mit Xenonterm für thermische Neutronen in einem kritischen Reaktor

$$(1) \quad D\Delta\phi + (\nu F - \Sigma - \sigma X)\phi - u\phi = 0$$

und die Jod- und Xenonkonzentrationsgleichungen

$$(2) \quad \begin{aligned} \dot{I} &= y_I F\phi - c_I I ; \\ \dot{X} &= y_X F\phi + c_I I - c_X X - \sigma X\phi . \end{aligned}$$

Dabei sind

$$\begin{aligned} \phi &= \phi(r, t) \\ I &= I(r, t) \\ X &= X(r, t) \\ u &= u(r, t) \end{aligned}$$

orts- und zeitabhängig; nur ortsabhängig ist

$$\Sigma = \Sigma(r).$$

Alle übrigen Größen sind Konstanten.

### § 3. Bedeutung der Größen und Konstanten

In den Gleichungen (1) und (2) bedeuten

$$\phi = \text{Neutronenfluß} \left[ \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \right]$$

$$D = \text{Diffusionskonstante} \left[ \text{cm} \right]$$

$$\nu = \text{Multiplikationsfaktor}$$

$$F = \text{Spaltquerschnitt} \left[ \text{cm}^{-1} \right]$$

$$\Sigma = \text{Absorptionsquerschnitt} \left[ \text{cm}^{-1} \right]$$

$$u = \text{zusätzliche Absorption (Regelung)} \left[ \text{cm}^{-1} \right]$$

$$X = \text{Xenonkonzentration } {}^{135}_{54} \text{Xe} \left[ \text{cm}^{-3} \right]$$

$$I = \text{Jodkonzentration} \left[ \text{cm}^{-3} \right]$$

$$\sigma = \text{mikroskopischer Absorptionsquerschnitt von } {}^{135}_{54} \text{Xe für Neutronen} \left[ \text{cm}^2 \right]$$

$$c_i = \text{Zerfallskonstante für Jod} \left[ \text{sec}^{-1} \right]$$

$$c_x = \text{Zerfallskonstante für Xenon} \left[ \text{sec}^{-1} \right]$$

$$y_i = \text{Produktionsrate für Jod}$$

$$y_x = \text{Produktionsrate für Xenon}$$

Die einzelnen Terme in Gl. (2) bedeuten

$$y_i F \phi: \quad \text{Entstehung von Jod durch Spaltung}$$

$$c_i I: \quad \text{Zerfall von Jod in Xenon}$$

$$y_x F \phi: \quad \text{Entstehung von Xenon durch Spaltung}$$

$$c_i I: \quad \text{Entstehung von Xenon aus Jodzerfall}$$

$$c_x X: \quad \text{Zerfall von Xenon (in Caesium)}$$

$$\sigma X \phi: \quad \text{Übergang (Abbrand) in das vernachlässigbare } {}^{136}_{54} \text{Xenon}$$

Der im folgenden verwendete Ortsbereich  $H \left[ \text{cm} \right]$  ist die Plattendicke des Plattenreaktors [1,2].



#### § 4. Optimierungskriterium

Es wird vorausgesetzt, daß durch geeignete Regelmaßnahmen der Fluß auf seinen stationären (oder jeden anderen vorgegebenen) Verlauf gebracht werden kann.

Für den Xenonzeitmaßstab geschieht dies so schnell, daß der Flußverlauf quasi unstetig ist. Das bedeutet, daß der Fluß im Gegensatz zur Jod- und Xenonkonzentration sich sprunghaft auf ein anderes Niveau begeben kann. Das Ziel der optimalen Regelung wird also nicht darin bestehen, den Fluß auf ein stationäres Niveau zu bringen, sondern den Jod- und Xenonverlauf.

Gesucht wird daher ein  $u(r,t)$ , so daß

$$I(r,t) = I^*(r) \quad (A)$$

und  $X(r,t) = X^*(r)$ ,

wobei  $I^*(r)$  und  $X^*(r)$  die stationären Lösungen sind.

Mit einer räumlichen Beschränkung der Regelung ist (A) nicht erfüllbar. Eine gute Näherung von (A) ist die Minimierung von

$$W(r,t) = \left( \frac{I - I^*}{I^*} \right)^2 + \left( \frac{X - X^*}{X^*} \right)^2. \quad (B)$$

Damit lautet das Problem:

Gesucht ist eine Regelung  $u(r,t)$  derart, daß für einen passend gewählten Zeitpunkt  $T$

$$Q(T) \text{ minimal wird mit} \quad (C)$$

$$Q(t) = \int_r W(r,t) dr$$

Da  $Q(t)$  einen oszillatorischen Verlauf hat bzw. in Abhängigkeit von  $t$  Schwankungen ausführt, ist es sinnvoll, zeitlich zu mitteln.

Damit lautet das Optimierungskriterium:

$$\int_T^{T+L} Q(t) dt \stackrel{!}{=} \text{Minimum} \quad (D)$$

für passend gewählte Größen  $T$  und  $L$ .

## Kap. II: LÖSUNGSMETHODE

### § 5. Anfangswerte, Randwerte, Stationäre Werte

Zu lösen ist also das Problem (D) mit den Nebenbedingungen (1) und (2), den Randwerten

$$\begin{aligned} \phi(r,t) &= 0, \\ (3) \quad I(r,t) &= 0, \quad \text{für } r = R \text{ (extrapolierter Reaktorrand)} \\ X(r,t) &= 0, \end{aligned}$$

und den Anfangswerten

$$\begin{aligned} (4) \quad I(r,0) &= I_0(r), \\ X(r,0) &= X_0(r). \end{aligned}$$

Dabei sind die zeit- und ortsabhängigen Größen  $\phi, I, X, u$  und die ortsabhängige Größe  $\Sigma$  über einen Ortsbereich  $H$ , der in  $n$  Intervalle mit der Intervalllänge  $h$  unterteilt ist, an  $n+1$  Stützstellen diskretisiert. Unter Voraussetzung der Randwerte (3) kann für das Programm auf die Stützstellen  $x=0$  und  $x=H$  verzichtet werden, d.h. die Rechnung braucht nur mit  $n-1$  Stützstellen durchgeführt zu werden.

Mit einer vorgegebenen stationären Lösung  $\phi^*$  ergibt sich für die stationären Lösungen  $I^*$  und  $X^*$  (aus Gleichung (2) mit  $\dot{I}=0$  und  $\dot{X}=0$ ):

$$\begin{aligned} I^*(r) &= \frac{y_i \cdot F}{c_i} \phi^*, \\ X^*(r) &= \frac{y_X + y_i}{c_X + \sigma \phi^*} \cdot \phi^* \cdot F, \end{aligned}$$

und für  $\Sigma(r)$  aus Gleichung (1):

$$\Sigma(r) = D \frac{\Delta \phi^*}{\phi^*} + (vF - \sigma X^*),$$

wobei  $u = 0$  gesetzt ist.

Die Anfangswerte  $I_0(r)$  und  $X_0(r)$  haben nur einen geringen Einfluß auf das Schwingungsverhalten des Flusses, können also im Prinzip beliebig vorgegeben werden, jedoch empfiehlt es sich, einen vom stationären Wert abweichenden (gestörten) Verlauf zu wählen, um ein verzögertes Auftreten der Schwingungen zu vermeiden (siehe Beispiel, § 14).



### § 6. Lösung der Differentialgleichungen (1) und (2)

Ausgehend von den Anfangswerten  $I_0(r)$  und  $X_0(r)$  lassen sich  $\dot{I}$  und  $\dot{X}$  aus Gl. (2) und somit auch  $I$  und  $X$  für das nächste Zeitintervall folgendermaßen berechnen:

$$I(r, t + \Delta t) = I(r, t) + \dot{I}(r) \cdot \Delta t ,$$

$$X(r, t + \Delta t) = X(r, t) + \dot{X}(r) \cdot \Delta t .$$

Dabei sollte für das Zeitintervall der Wert  $\Delta t = 1$  Stunde nicht überschritten werden, um einen glatten Verlauf der Kurven für  $\phi$ ,  $I$  und  $X$  zu gewährleisten.

Für die Diskretisierung des  $\Delta$  - Operators wurden zentrale Differenzenformeln verwendet [1,2]:

$$\Delta\phi(r, t) = \frac{1}{(\Delta x)^2} \cdot \left[ \phi(r - \Delta x, t) - 2\phi(r, t) + \phi(r + \Delta x, t) \right] .$$

Das Ortsintervall soll so klein gewählt werden, daß die existierenden Effekte sich auch einstellen und nicht durch unzureichende Entkopplung durch die Diskretisierung zerstört werden; andererseits aber muß  $\Delta x$  so groß sein, daß nicht unnötiger Rechenzeit- und Speicherplatzaufwand getrieben wird.

In den vorliegenden Rechnungen und Beispielen wurde  $\Delta x = 20$  cm gewählt.

Bei der Berechnung von  $\phi$  zum Zeitpunkt  $t + \Delta t$  führt Gleichung (1) mit dem Ansatz [2]

$$D\Delta\phi + \left( \frac{\nu}{k} F - \Sigma - \sigma X \right) \phi - u \cdot \phi = 0$$

unter Benutzung des schon für das nächste Zeitintervall berechneten  $X(r, t + \Delta t)$  auf ein Eigenwertproblem der Form

$$(5) \quad \frac{1}{k} \phi = A \phi ,$$

wobei  $\frac{1}{k}$  der kleinste Eigenwert der Matrix

$$(6) \quad A = \frac{1}{\nu F} ( \Sigma + \sigma X + u ) - D\Delta\phi$$

ist.

In den Modellrechnungen der Beispiele erfolgte die Lösung von (6) durch Invertierung der Matrix A und anschließender Bestimmung des größten Eigenwertes der Matrix  $A^{-1}$  mit Hilfe des von Mises'schen Iterationsverfahrens [3].

Der zum Eigenwert  $\frac{1}{k}$  gehörende Eigenvektor z wird so normiert, daß

$$c \cdot \int_r z(r) \, dr = \int_r \phi^*(r) \, dr \, .$$

Daraus folgt:

$$(7) \quad \phi(r, t + \Delta t) = c \cdot z(r) = \frac{\int_r \phi^*(r) dr}{\int_r z(r) dr} \cdot z(r) \, .$$

### § 7. Optimierungsmethode

Es ist das Ziel, durch geeignete Regelung, d.h. durch Wahl eines passenden  $u(r,t)$ , die Schwankungen, die  $Q$  in Abhängigkeit von  $t$  ausführt, minimal zu halten. Mit dem Kriterium (D) wurden umfangreiche Untersuchungen bei 2 Regelstäben im Plattenreaktor (Plattendicke  $H$ ) vom HTR-Typ [1,2] durchgeführt. Die Stäbe sind dabei in der linken bzw. rechten Hälfte des Bereiches  $H$  angeordnet. Stabanordnung und Stabstärke lassen sich durch die Regelfunktion  $u$  folgendermaßen beschreiben:

$$u(r,t) = g_0 \cdot g_l(r) \quad , \quad t \in T_l \quad \begin{array}{l} \text{für das Regelintervall} \\ T_l \text{ des linken Regelstabes,} \end{array}$$

und

$$u(r,t) = g_0 \cdot g_r(r) \quad , \quad t \in T_r \quad \begin{array}{l} \text{für das Regelintervall} \\ T_r \text{ des rechten Regelstabes,} \end{array}$$

wobei  $g_0$  die Stabstärke ist und mit den Funktionen  $g_l(r)$  und  $g_r(r)$  die Position des linken bzw. rechten Regelstabes angegeben werden kann. Außerhalb der Regelintervalle ist folglich  $u(r,t) = 0$ .

Entscheidend dafür, mit welchem Stab der Regelvorgang durchzuführen ist, ist der Verlauf der Abweichung des Flusses von seinem stationären Wert an der Stelle eines Maximums von  $Q(Q_{\max})$ , und zwar erfolgt eine Regelung links, falls

$$V_l = \int_{r=0}^{H/2} [\phi(r, t_Q) - \phi^*(r)] dr > 0 \quad ,$$

und eine Regelung rechts, falls

$$V_r = \int_{r=H/2}^H [\phi(r, t_Q) - \phi^*(r)] dr > 0$$

bzw.  $V_l < 0$  ist, wobei  $Q$  für  $t = t_Q$  ein Maximum besitzt.

Damit konnten im Sinne des Kriteriums (D) Stabstärke, Stabposition und Regelzeiten optimal ermittelt werden.



Die Untersuchungen lieferten im einzelnen die folgenden Resultate:

- a) Der Einfluß der Stabstärke ist gering.
- b) Es ergab sich eine beste Stabanordnung; die Stäbe waren dabei nicht im Flußmaximum, sondern nach innen versetzt.
- c) Bei  $L = 11$  Stunden erhält man am wenigsten streuende und damit am besten deutbare Ergebnisse.
- d) Die zeitliche Kopplung des Gleichungssystems (1) und (2) ist stärker als die räumliche.
- e) Der Mittelpunkt des Regelintervalls liegt zeitlich vor dem Maximum der Funktion  $Q(t)$  der unregelmäßigen Schwingung. Die Abhängigkeit der Differenz  $\Delta$  von einigen Reaktorgrößen kann angegeben werden.
- f) Für die Einschaltzeit  $t_a$  gilt in guter Näherung

$$\frac{P(t_a)}{P_{\max}} = \text{const.}$$

mit  $P = \int_R \phi(r, t) dV$  über den jeweiligen Stabanteil  $R$  von  $V$ .

- g) Für die Ausschaltzeit  $t_e$  gilt:

$$Q(t_e) = 0 \quad (\text{lokales Minimum}) ,$$

sofern  $Q$  nicht schon im Bereich der statistischen Schwankungen liegt.

- h) Sofern die Abweichungen vom stationären Verlauf nur noch gering sind, gilt

$$P(t_e) = 0$$

mit  $P(t) = \int_V (\phi - \phi^*) dv$ ,

wobei unmittelbar vorher eine weitere Nullstelle von  $P$  liegt.

Bei der Optimierung erwies sich ein Gradientenverfahren als ungeeignet. Da der Rechenaufwand bei der (hier verwendeten) Methode des systematischen Suchens linear mit der Stützstellenzahl und quadratisch mit der Anzahl der

Regelstäbe wächst, war das Ziel, eine Strategie zu finden, die dem Optimum nahe kommt.

Die oben erwähnten Ergebnisse reichen nicht aus, eine Strategie der optimalen Regelung zu charakterisieren; sie ergeben aber gute Anfangswerte.

Eine große Genauigkeitsverbesserung gelingt jedoch mit der Spline-Interpolation [4] des Funktionsverlaufs von  $Q(t)$  zur genaueren Bestimmung des Zeitpunktes von  $Q_{\max}$ .

Bezeichnet man mit  $\Delta$  den Zeitpunkt des Regelintervallmittelpunktes vom Zeitpunkt des Maximalwertes von  $Q(t)$  und mit  $t_i$  die halbe Länge des Regelintervalles, so wird die optimale Strategie gegeben durch

$$\begin{aligned} \Delta &= a_1 \cdot Q_{\max} + b_1, \\ (8) \quad t_i &= a_2 \cdot Q_{\max} + b_2. \end{aligned}$$

Durch Vorabrechnungen wurden die Konstanten  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$  und  $b_2$  bestimmt. Danach benötigt man zur Bestimmung der optimalen Regelung nur noch die Berechnung der jeweils freien Schwingung bis zum nächsten Maximum von  $Q$ . Damit werden Anfangs- und Endzeitpunkt der nächsten Regelung bestimmt.

### Kap. III: PROGRAMMBESCHREIBUNG UND ANWENDUNG

Das Programm ist in FORTRAN IV geschrieben und wurde auf der IBM/370-168 des Zentralinstituts für Angewandte Mathematik der KFA Jülich GmbH mit dem FORTRAN-H-EXTENDED-Compiler getestet (Betriebssystem OS-MVT Release 21.7). Es besteht aus mehreren Unterprogrammen, welchen ein geeignetes Hauptprogramm mit den vom Benutzer gewählten Eingabedaten voranzusetzen ist. Die anschließende Prozedur "FILM" sorgt für die Darstellung der Funktion  $Q(t)$  sowie der im folgenden näher erläuterten Funktionen  $(\phi - \phi^*)_{k_1}(t)$  und  $(\phi - \phi^*)_{k_2}(t)$  auf Mikrofilm<sup>+</sup>).

Mit Hilfe eines selbst entwickelten PL/1-Programms werden die dreidimensionalen Funktionen  $\phi$ ,  $I$ ,  $X$  und  $u$ , deren Werte vorher vom FORTRAN-Programm zwischengespeichert werden, ebenfalls auf Mikrofilmplotter ausgegeben.

#### § 8. Übersicht

Das FORTRAN-Programm besteht aus folgenden Unterprogrammen:

##### a) XENON

bildet das eigentliche "Hauptprogramm" und organisiert das Optimierungsverfahren und die Regelung. Es bestimmt die Konstanten und berechnet die stationären Werte und Anfangswerte, sofern sie nicht vom vorgeschalteten Hauptprogramm übergeben werden. Unter Benutzung der selbst entwickelten Unterprogramme PHIX, MATINV und MISES wird das Ausgangsproblem der Gleichungen (1) und (2) gelöst; weiterhin wird das jeweilige Maximum von  $Q$  mit Hilfe einer Spline-Interpolation durch das Unterprogramm SPLINE bestimmt sowie Regelzeitmitte  $t_m$  und Regelintervall  $2 \cdot t_i$  bzw. Regelzeitanfang  $t_a$  und Regelzeitende  $t_e$  berechnet. Außerdem werden die Werte der Funktionen  $Q$ ,  $(\phi - \phi^*)_{k_1}$ ,  $(\phi - \phi^*)_{k_2}$ ,  $\phi$ ,  $I$ ,  $X$  und  $u$  für die Plot-Programme aufbereitet.

##### b) TSORT

übernimmt das Einsortieren der Zeiten  $t_a$  und  $t_e$  in das Zeitfeld  $T$ .

---

<sup>+</sup>) CALCOMP-Mikrofilmplotter



## c) PHIX

löst nach Aufstellung der Matrix A (5) das diskretisierte Eigenwertproblem (4) für jeweils ein Zeitintervall.

## d) MATINV

invertiert die Matrix A (5).

## e) MISES

bestimmt den größten Eigenwert von  $A^{-1}$ .

## f) DRUCK

druckt den Verlauf der Funktionen  $Q(t)$ ,  $V_1(t)$  und  $V_r(t)$  für die unregelmäßige Schwingung sowie nach jedem Regelvorgang über 60 Zeitintervalle.

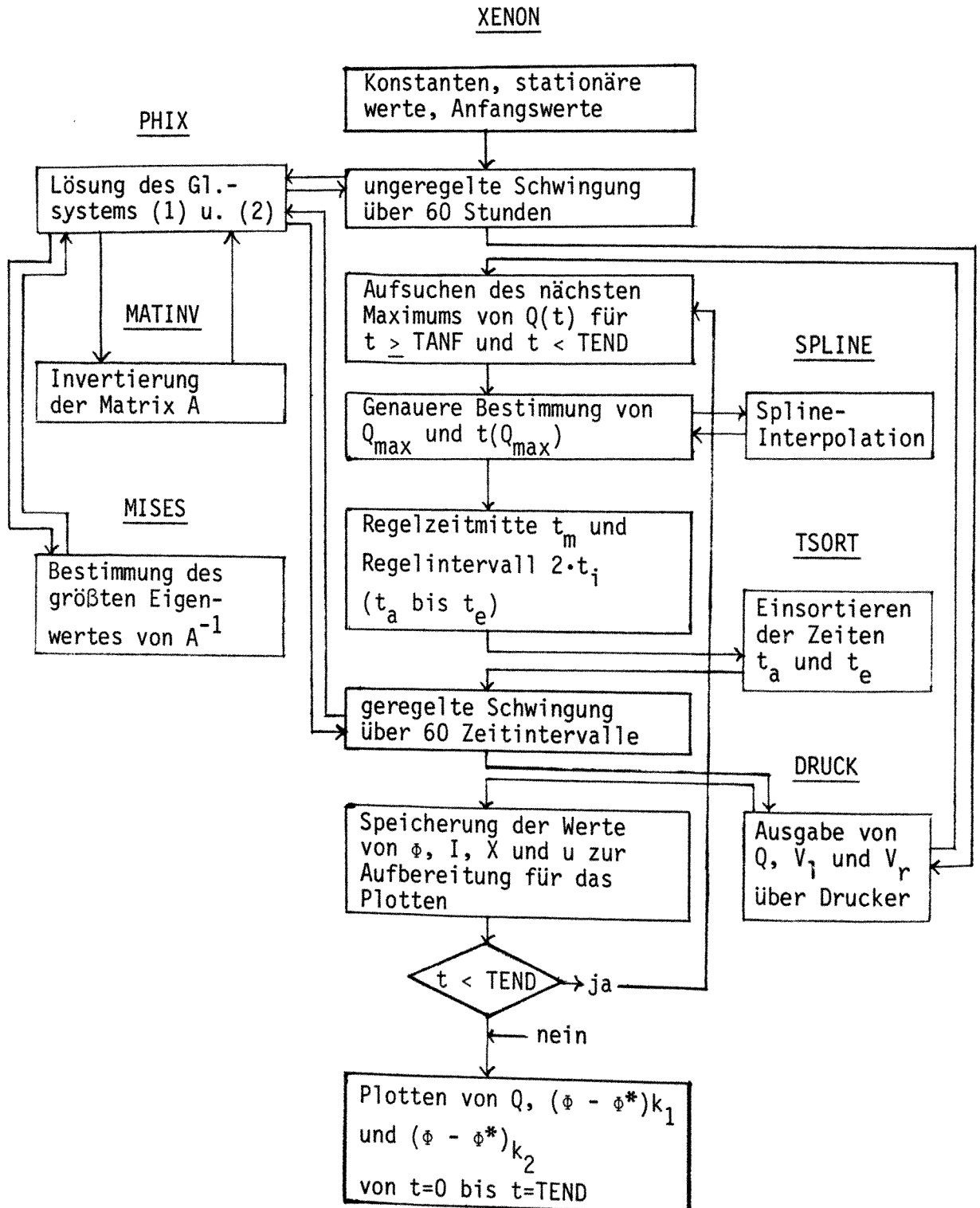
## g) SPLINE

besorgt die kubische Spline-Interpolation [4] im Bereich der Maxima der Funktion  $Q(t)$ .

Die Unterprogramme KURVEF zum Plotten der zweidimensionalen Kurven und PDDM zum Plotten der dreidimensionalen Funktionen sind der Programmbibliothek des Zentralinstitutes für Angewandte Mathematik der KFA Jülich GmbH entnommen [7].

## § 9. Programmablauf

Das folgende Blockdiagramm soll den Ablauf des Programms grob veranschaulichen:



## § 10. Erläuterungen

Die Funktionen  $\phi(r,t)$ ,  $I(r,t)$ ,  $X(r,t)$  und  $u(r,t)$  sind doppelt indiziert. Die Anzahl der Ortsstützstellen (Diskretisierungspunkte) ist frei wählbar, zu beachten ist jedoch, daß das Programm unter Voraussetzung der Randwerte (3) bei  $n$  Intervallen mit  $n-1$  Stützstellen rechnet. Die Anzahl der Zeitintervalle ist im Programm mit 60 festgelegt, wodurch der Verlauf der Funktionen  $Q$ ,  $V_l$  und  $V_r$  sowohl für die unregelmäßige Schwingung als auch nach jedem Regelvorgang über einen längeren Zeitraum ausgedruckt werden kann. Das Zeitintervall  $\Delta t = 1$  Stunde ist vom Programm fest vereinbart und wird nur durch die Regelanfangs- und Regelendzeiten  $t_a$  und  $t_e$ , die genauer bestimmt werden, verkürzt.

Die anzugebende Zeit TANF für den Beginn des Regelprozesses bzw. für das Aufsuchen des ersten Maximums von  $Q(t)$  kann beliebig vorgegeben werden. Liegt dieses Maximum im Bereich der oberen Dimensionsgrenze der Zeit (61) oder weit darüber, werden die Funktionen  $\phi$ ,  $I$  und  $X$  mit entsprechend geänderter Indizierung für einen neuen Zeitraum mit 60 Zeitintervallen berechnet, so daß eine Überschreitung der Dimensionsgrenze vermieden wird.

Nach jedem Regelvorgang werden mit  $\phi(r, t_e + \Delta t)$ ,  $I(r, t_e + \Delta t)$  und  $X(r, t_e + \Delta t)$  als neuen Anfangswerten das nächste Maximum von  $Q$  sowie Regelzeitmitte  $t_m$  und Regelintervall  $2 \cdot t_i$  bzw.  $t_a$  und  $t_e$  berechnet.

Der Regelvorgang wird abgebrochen, sobald der vom Benutzer gewählte Zeitpunkt TEND erreicht ist.

Der Kurvenverlauf von  $Q$ ,  $V_l$  und  $V_r$  kann sowohl für die unregelmäßige Schwingung bis TANF als auch nach jedem Regelvorgang über 60 Zeitintervalle auf Drucker sichtbar gemacht werden.

Die Werte  $Q_{\max}$  und  $t(Q_{\max})$  werden durch kubische Spline-Interpolation über einen Zeitraum von 4 Stunden im Bereich des Maximums von  $Q$  bestimmt und  $t(Q_{\max})$  auf 1/8 Stunde genau angegeben, was für die Regelstrategie, d.h. für die Bestimmung von Regelzeitmitte  $t_m$  und Regelintervall  $2 \cdot t_i$ , zu einer erheblichen Verbesserung führt.

Das Programm ermöglicht ein Plotten der Funktionen  $(\phi - \phi^*)_{k_1}(t)$  und  $(\phi - \phi^*)_{k_2}(t)$  über den gesamten Regelzeitraum ( $t=0$  bis  $t=TEND$ ), wobei  $k_1$

und  $k_2$  zwei beliebig vorgegebene Diskretisierungspunkte (Ortsstützstellen) sind. Dadurch ist es möglich, das Schwingungsverhalten der Abweichung des Flusses  $\Phi$  von seinem stationären Wert an zwei Punkten, die besonders starken Schwingungen ausgesetzt sind, sichtbar zu machen. Bei  $n=32$  Ortsintervallen gilt dies für die Stützstellen  $k_1=5$  und  $k_2=27$  (siehe Beispiel, § 16).

Der Einfluß der Konstanten  $D$ ,  $\nu$ ,  $\sigma$ ,  $c_i$ ,  $c_x$ ,  $y_i$  und  $y_x$  auf das Schwingungsverhalten ist gering. Deshalb sind diese Werte im Programm wie folgt fest vereinbart:

$$D = 1.56 \text{ cm}$$

$$\nu = 2.5$$

$$\sigma = 0.98 \cdot 10^{-18} \text{ cm}^2$$

$$c_i = 2.1 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$$

$$c_x = 2.94 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$$

$$y_i = 6.25 \%$$

$$y_x = 0.2 \%$$

Bei den 3D-Bildern wird zur besseren Anschauung nur die Abweichung vom stationären Verlauf wiedergegeben. Auf dem extrapolierten Rand wird die Nulllinie gezeichnet, d.h. alle Größen werden für  $r=0$  und  $r=H$  als stationär angenommen.



### § 11. Regelfunktion und Regelstrategie

Für die in § 7 erwähnten Funktionen  $g_1$  und  $g_r$ , aus denen sich die Regelfunktion  $u$  zusammensetzt, wurde die folgende Darstellungsform gewählt:

$$g_1(j) = \begin{cases} 0 & \text{für } 1 \leq j < l_1-4 \\ \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + \sin \left( \frac{\pi}{4} \cdot (j-l_1+2) \right) \right] & \text{für } l_1-4 \leq j \leq l_1+4 \\ 0 & \text{für } l_1+4 < j \leq n-1 \end{cases}$$

bzw.

$$g_r(j) = \begin{cases} 0 & \text{für } 1 \leq j < l_2-4 \\ \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + \sin \left( \frac{\pi}{4} \cdot (j-l_2+2) \right) \right] & \text{für } l_2-4 \leq j \leq l_2+4 \\ 0 & \text{für } l_2+4 < j \leq n-1 \end{cases}$$

An den Diskretisierungspunkten  $j=l_1$  bzw.  $j=l_2$  haben diese Funktionen ein Maximum, d.h. mit  $l_1$  bzw.  $l_2$  kann die Anordnung der Regelstäbe angegeben werden. Bei  $n=32$  Ortsintervallen werden mit  $l_1=6$  und  $l_2=26$  optimale Ergebnisse erzielt (siehe § 15, Abb. 7).

Unter Verwendung dieser Funktionen wurden mit Hilfe eines Suchprozesses zur Ermittlung von Regelzeitmitte  $t_m$  und Regelintervall  $2 \cdot t_i$  umfangreiche Untersuchungen für verschieden große Maxima von  $Q$  und Stabstärken  $g_0$  durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, daß es möglich ist,  $t_m$  und  $t_i$  in Abhängigkeit von  $Q_{\max}$  und  $g_0$  in der folgenden Form direkt anzugeben:

$$t_m = t(Q_{\max}) - \Delta \quad \text{mit} \quad \Delta = a \cdot Q_{\max} + b ,$$

$$t_i = c(g_0) \cdot Q_{\max} + d(g_0) .$$

Dabei entsprechen  $a$ ,  $b$ ,  $c(g_0)$  und  $d(g_0)$  den Konstanten  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$  und  $b_2$  aus Gleichung (8).

Mit dieser Strategie ist es möglich,  $\int_T^{T+L} Q(t)dt$  über einen Zeitraum von  $L=11$  Stunden minimal zu halten.

Die Rechnungen wurden mit  $g_0 = m \cdot 10^{-5}$  für  $m = 9, 11, 13, 15$  und  $17$  durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, daß die Regelzeitmitte  $t_m$

- a) vor dem Maximum von  $Q$  der unregelmäßigen Schwingung liegt,  
 b) von der Stabstärke  $g_0$  unabhängig ist.

Folgende Tabelle gibt die für a, b, c und d ermittelten Werte an:

m	9	11	13	15	17
a	-0.046324				
b					
c	0.135115	0.100525	0.079199	0.062563	0.056612
d	0.173710	0.188683	0.137795	0.254465	0.178783

Der arithmetische Mittelwert  $d_m$  von d und der durch Gauß-Approximation [3] mit dem Ansatz  $A/g_0$  ermittelte Wert für c liefern sehr gute Näherungswerte und führen zu einer weiteren Automatisierung der Regelstrategie derart, daß die von  $g_0$  abhängigen Größen c und d vom Programm berechnet werden können, d.h. eine Eingabe dieser Größen überflüssig wird.

Die erwähnte Rechnung ergab:

$$A = 1.11806 \cdot 10^{-5} ,$$

$$d_m = 0.1866871 .$$

Daraus folgt:

$$t_i = \frac{1.11806 \cdot 10^{-5}}{g_0} Q_{\max} + 0.1866871 ,$$

und damit

$$t_a = t_m - t_i ,$$

$$t_e = t_m + t_i .$$

§ 12. Aufruf des Programms

```
CALL XENON (PHI,I,X,U,SIGMA,PHIST,IST,XST,H,F,GNUL,L1,L2,TANF,TEND,K1,K2,
           N1,N,NP1,IPL0T,M,Z0,Z1,XPL0T,FPL0T,GL,GR,IER)
```

Typ der Parameter

```
REAL*8      PHI,I,X,U,SIGMA,PHIST,IST,XST,H,F,TANF,TEND,M,Z0,Z1,
            GNUL,GL,GR
REAL*4      XPL0T,FPL0T
INTEGER*4    N1,N,NP1,L1,L2,K1,K2,IER
LOGICAL*1    IPL0T
```

Eingabeparameter sind:

PHIST(J), I(J,1), X(J,1) mit  $J = 1(1)N-1$   
H,F,GNUL,L1,L2,TANF,TEND,K1,K2,N1,N,NP1,IPL0T

Dabei ist  $PHIST(J) = \phi^*(r)$ ,  $I(J,1) = I_0(r)$ ,  $X(J,1) = X_0(r)$

Ausgabeparameter ist: IER

Alle anderen Parameter sind Hilfsgrößen und -felder bzw. berechnen sich aus den Eingabeparametern.

Bedeutung der Parameter

N1 absolute im Hauptprogramm vereinbarte Dimensionsgrenze für die 1. Dimension (Ortsstützstellen) der Felder PHI, I, X und U sowie die Dimension der einfach indizierten Felder SIGMA, PHIST, IST und XST.

N Anzahl der Ortsintervalle des Bereiches H, wobei  $N1 \geq N-1$  sein muß.

NP1 ist gleich N+1 zu setzen für die Dimensionierung der Hilfsfelder XPL0T und FPL0T.

PHI,I,X,U zweifach indizierte Felder der Länge  $N1 \times 61$ . Sie enthalten die Werte von  $\phi, I, X$  und  $U$  über 60 Zeitintervalle.

SIGMA	$\Sigma$ : einfach indizierter Bereich der Länge N1.
GL,GR	einfach indizierte Felder der Länge N1. Sie enthalten die Funktionen $g_l$ bzw. $g_r$ .
PHIST,IST,XST	einfach indizierte Felder der Länge N1. Sie enthalten die stationären Lösungen $\phi^*$ , $I^*$ , $X^*$ .
H	Ortsbereich, der in N Intervalle unterteilt wird.
F	Spaltquerschnitt (siehe § 3).
GNUL	Stabstärke $g_0$ der Regelstäbe.
L1,L2	Diskretisierungspunkte für das Maximum der Funktionen $g_l$ bzw. $g_r$ .
TANF	Zeitpunkt (in Stunden), von dem ab die Regelung vorgenommen bzw. das erste Maximum von Q gesucht werden soll.
TEND	Regelzeitendpunkt (in Stunden), wobei $TEND \leq 1000$ sein muß.
K1,K2	Diskretisierungspunkte der Funktion $(\phi - \phi^*)$ , für die deren Verlauf von $t=0$ bis $t=TEND$ geplottet werden soll.
IPLOT	Steuerparameter für die Ausgabe des Kurvenverlaufs von Q, $V_l$ und $V_r$ auf Drucker: IPLOT = .TRUE. : Druckerausgabe, IPLOT = .FALSE. : keine Druckerausgabe.
M	zweifach indiziertes Feld der Länge N1xN1.
Z0,Z1	einfach indizierte Felder der Länge N1.
XPLOT,FPLOT	einfach indizierte Felder der Länge NP1.
IER	Parameter zur Fehlerkennung: IER = 0 : kein Fehler, IER = 1 : $N1 < N-1$ , IER = 2 : $TEND > 1000$ .

Hinweis:

Ist  $TEND \leq TANF$ , so wird die unregelmäßige Schwingung bis  $t=TANF$  gerechnet.



### § 13. Datenaufbereitung, Speicherplatz, Rechenzeit

Zur Speicherung der Werte der zweifach indizierten Felder PHI, I, X und U über den gesamten vorgegebenen Zeitraum  $t=0$  bis  $t=TEND$  werden zwei temporäre Datasets benötigt, um diese Werte dem PL/1-Programm zum Plotten der 3D-Bilder zur Verfügung zu stellen. Die Größe dieser Datasets hängt von der Anzahl der Ortsintervalle  $N$  und der Zeitintervalle ab.

Die Anordnung erfolgt folgendermaßen:

#### 1. Dataset

1. Satz: Anzahl der Ortsstützstellen (NP1) (4 Bytes)
2. Satz: Anzahl der Zeitstützstellen (4 Bytes)
3. Satz: Ortsstützstellen  $XPL0T(J), J=1(1)NP1$  ( $NP1*4$  Bytes)

#### 2. Dataset

Für einen Zeitpunkt  $T_i$  werden jeweils 5 Sätze benötigt:

1. Satz:  $T_i$  (4 Bytes)
2. Satz:  $U(T_i)$  ( $NP1*4$  Bytes)
3. Satz:  $I(T_i)$  ( $NP1*4$  Bytes)
4. Satz:  $X(T_i)$  ( $NP1*4$  Bytes)
5. Satz:  $PHI(T_i)$  ( $NP1*4$  Bytes)

Die Satzlänge ist dabei variabel.

(DD-Statement: RECFM=VBS, LRECL= $NP1*4+4$  Bytes)

Der Benutzer ist dafür verantwortlich, daß für diese Werte im DD-Statement genügend Platz reserviert wird [8].

Der vom Programm beanspruchte Speicherplatz hängt im wesentlichen von  $N$  ab, wobei die doppelt indizierten Felder den größten Einfluß haben. Da es sich um REAL\*8-Größen handelt, ist ihr Speicherplatz

für PHI, I, X und U jeweils  $(61*(N-1))*8$  Bytes,

für M  $((N-1)*(N-1))*8$  Bytes.

Für  $N=32$  Ortsintervalle und  $N1=N-1$  benötigt das Programm insgesamt 134904 Bytes.

Über die Rechenzeit kann wegen der vorher nicht bekannten Anzahl der Regelvorgänge und der unterschiedlichen Qualität der FORTRAN-Compiler keine exakte Aussage gemacht werden. Bei den Testläufen, für die der FORTRAN-H-EXTENDED-Compiler benutzt wurde, ergaben sich folgende CPU-Zeiten:

TEND	Regelmaßnahmen ( $R_m$ )	CPU-Zeit	
60 Stunden	0	0 min	47 sec
78 Stunden	2	2 min	47 sec
140 Stunden	6	7 min	19 sec
269 Stunden	25	27 min	30 sec

Einen im angegebenen Bereich brauchbaren Näherungswert liefert folgende Formel:

$$\text{CPU-Zeit (in sec)} = \left( \frac{5}{6} \cdot \text{TEND (in Stunden)} + R_m \cdot 55 \right)$$

# Kap. IV: BEISPIEL

## § 14. Eingabedaten

Für das Beispiel wurden folgende Eingabewerte gewählt:

$$H = 640 ,$$

$$F = 0.0016 ,$$

$$\Sigma(r) = \text{SIGMA}(J) , J=1(1)N-1 \quad (\text{siehe § 15, Abb. 4}) ,$$

$$\begin{aligned} \Phi^*(r) &= \text{PHIST}(J) = 2 \cdot 10^{14} \left[ 1 - \left( \frac{J \cdot h}{H/2} - 1 \right)^8 \right] \\ &= 2 \cdot 10^{14} \left[ 1 - \left( \frac{2 \cdot J}{N} - 1 \right)^8 \right], \quad J=1(1)N-1 \\ &\quad (\text{siehe § 15, Abb. 1}) , \end{aligned}$$

$$I_0(r) = c \cdot \bar{I}(J) ,$$

$$\text{mit} \quad \bar{I}(J) = 10^{14} \cdot \frac{J-1}{2-N} + 4 \cdot 10^{14} ,$$

$$\text{so da\ss} \quad \int_r I_0(r) dr = \int_r I^*(r) dr .$$

Daraus folgt:

$$I_0(r) = I(J,1) = \frac{\int_r I^*(r) dr}{\int_r \bar{I}(r) dr} \cdot \bar{I}(J) , \quad J=1(1)N-1$$

(siehe § 15, Abb. 5) ,

$$X_0(r) = c \cdot \bar{X}(J)$$

$$\text{mit} \quad \bar{X}(J) = 0.6 \cdot 10^{14} \frac{J-1}{2-N} + 1.9 \cdot 10^{14} ,$$

$$\text{so da\ss} \quad \int_r X_0(r) \cdot \Phi^*(r) dr = \int_r X^*(r) \cdot \Phi^*(r) dr .$$

Daraus folgt:

$$X_0(r) = X(J,1) = \frac{\int_r X^*(r) \cdot \Phi^*(r) dr}{\int_r \bar{X}(r) \cdot \Phi^*(r) dr} \cdot \bar{X}(J) , \quad J=1(1)N-1$$

(siehe § 15, Abb. 6) .

Diese Daten wurden gewählt, weil sie

- a) im Bereich von HTR-Dimensionen liegen,
- b) ohne Regelmaßnahme zu starken Schwingungen neigen.

Außerdem sind eingegeben:

N1 = 31 ,

N = 32

NP1 = 33

TANF = 25

TEND = 70

L1 = 6

L2 = 26

GNUL =  $11 \cdot 10^{-5}$

K1 = 5

K2 = 27

IPLT = .TRUE.

### § 15. Abbildungen

Die Abbildungen 1 - 7 beziehen sich auf die Eingabedaten des Beispiels bzw. zeigen den Verlauf der Funktionen, die mit diesen Eingabedaten berechnet werden.

Abb. 1 Stationärer Verlauf des Flusses  $\phi^*(r) = \text{PHIST}(J)$

Abb. 2 " " von  $I^*(r) = \text{IST}(J)$

Abb. 3 " " von  $X^*(r) = \text{XST}(J)$

Abb. 4  $\Sigma(r) = \text{SIGMA}(J)$

Abb. 5 Anfangswert  $I_0(r) = I(J,1)$

Abb. 6 Anfangswert  $X_0(r) = X(J,1)$

Abb. 7 Regelfunktion  $u = g_1(r) + g_r(r) = \text{GL}(J) + \text{GR}(J)$

mit  $j=0(1)N$ , d.h.: für alle Funktionen gilt:

$$F(x=0) = F(x=H) = 0$$

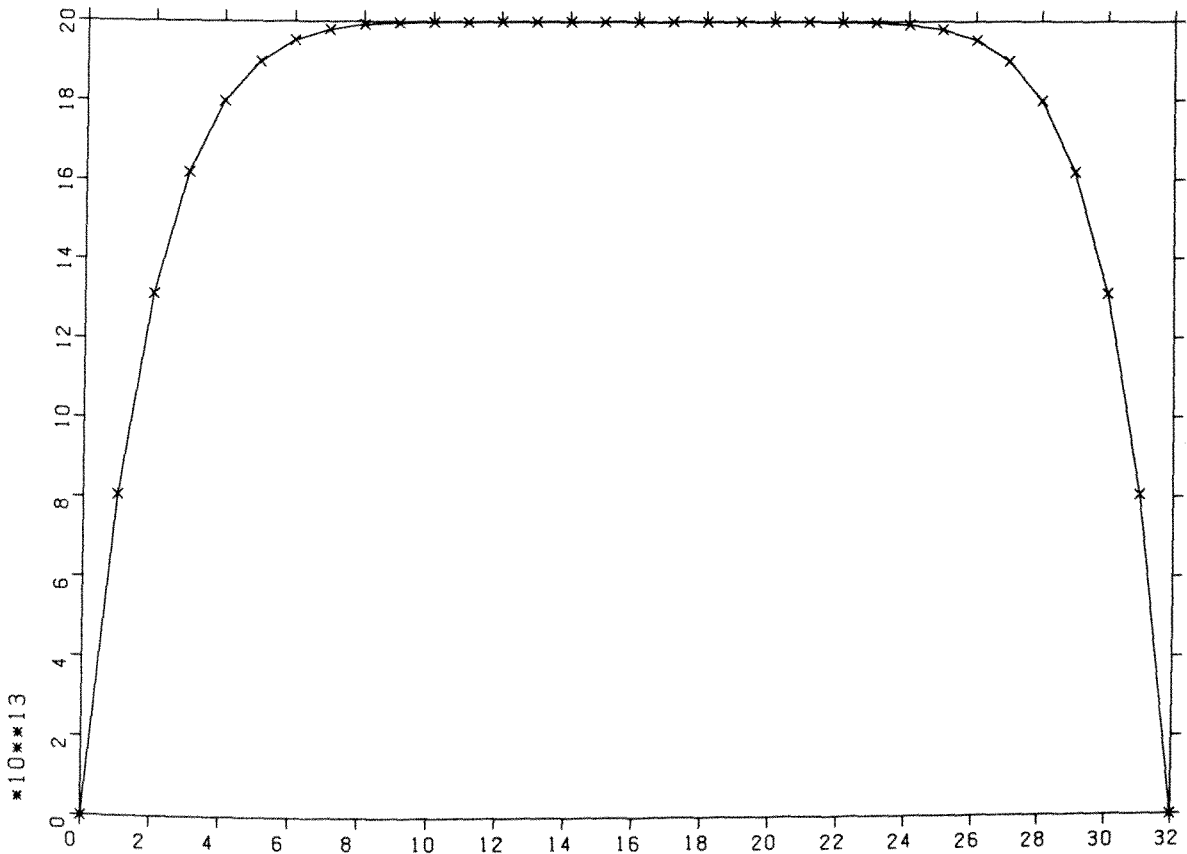


Abb. 1  $\phi^*(r)$



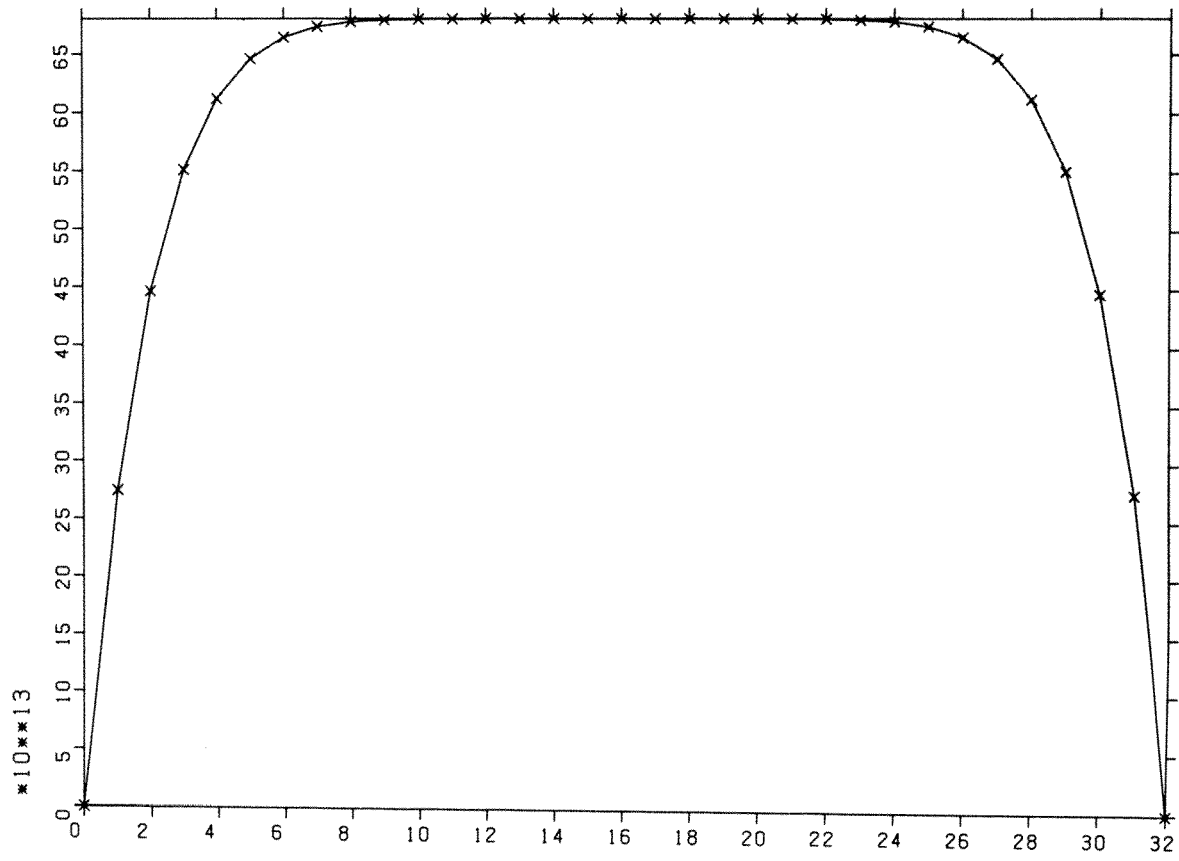


Abb. 2  $I^*(r)$

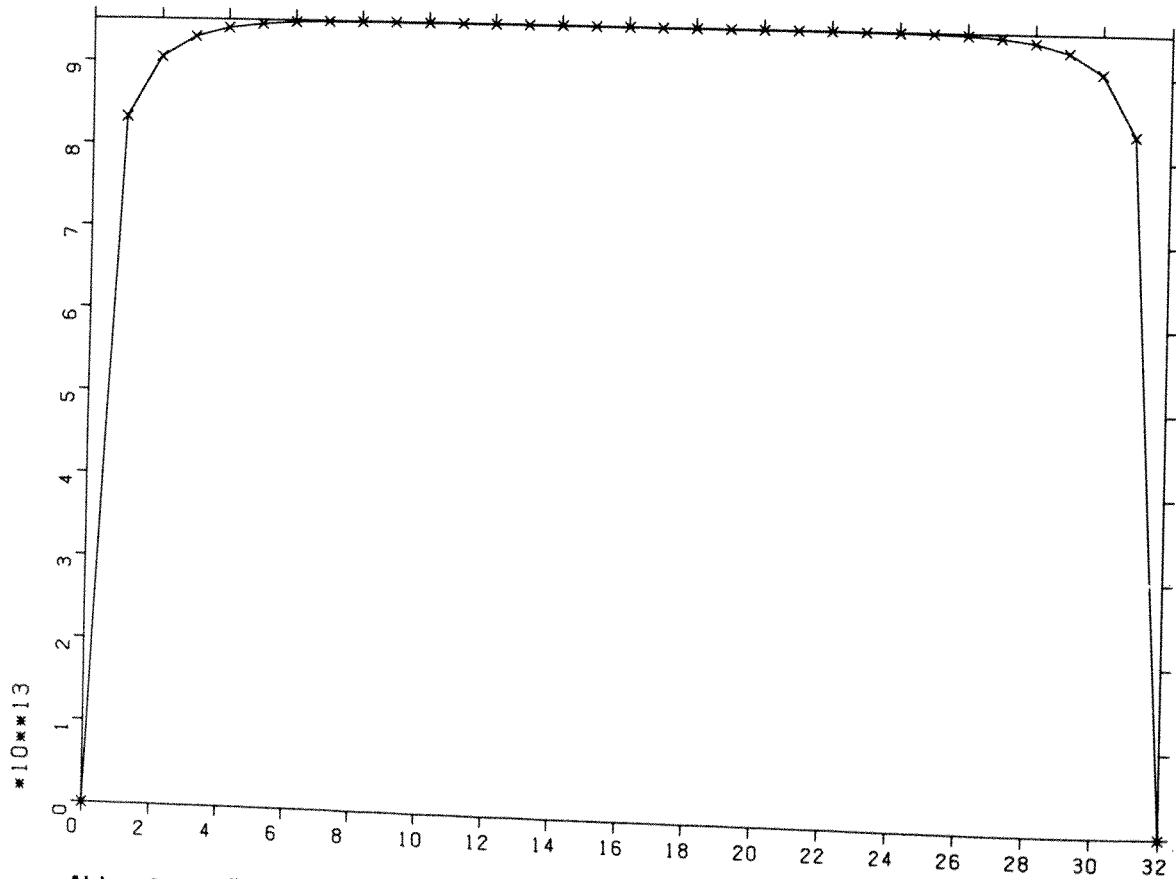
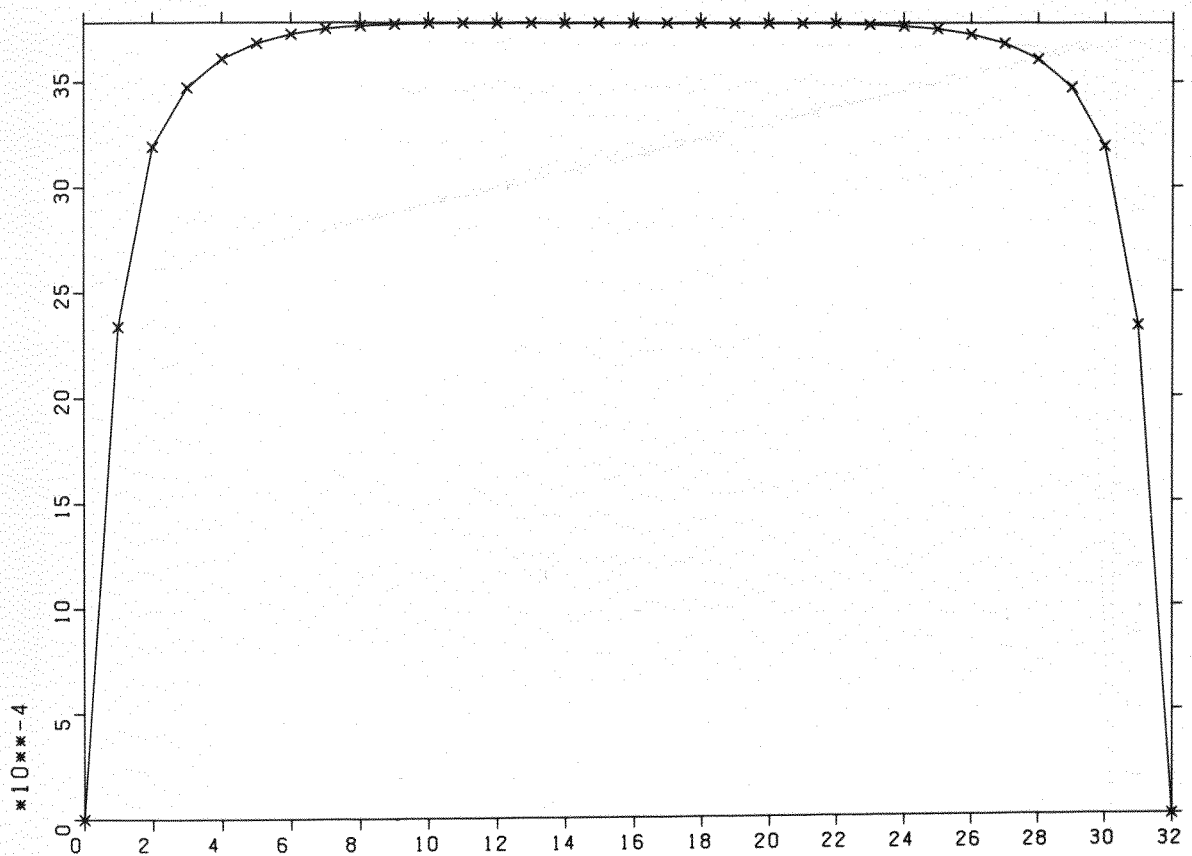
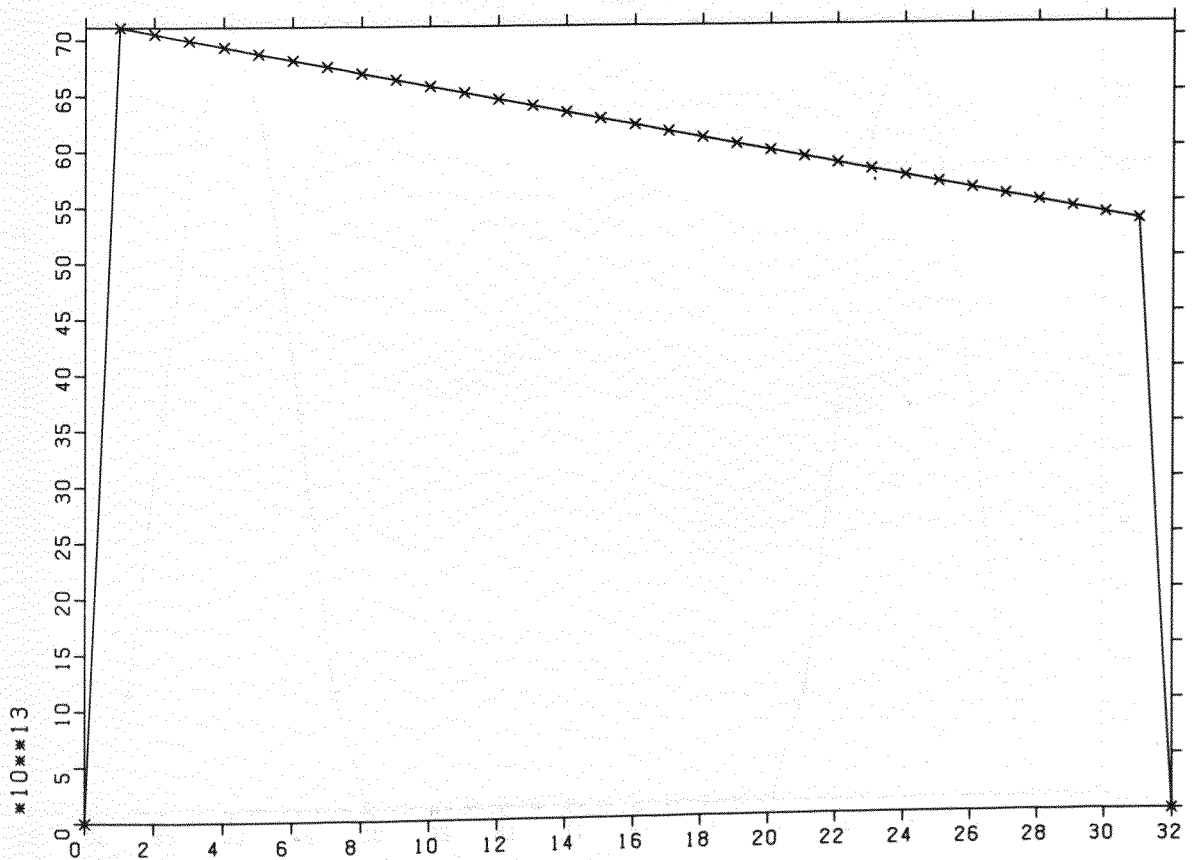


Abb. 3  $X^*(r)$

Abb. 4  $\Sigma(r)$ Abb. 5  $I_0(r)$

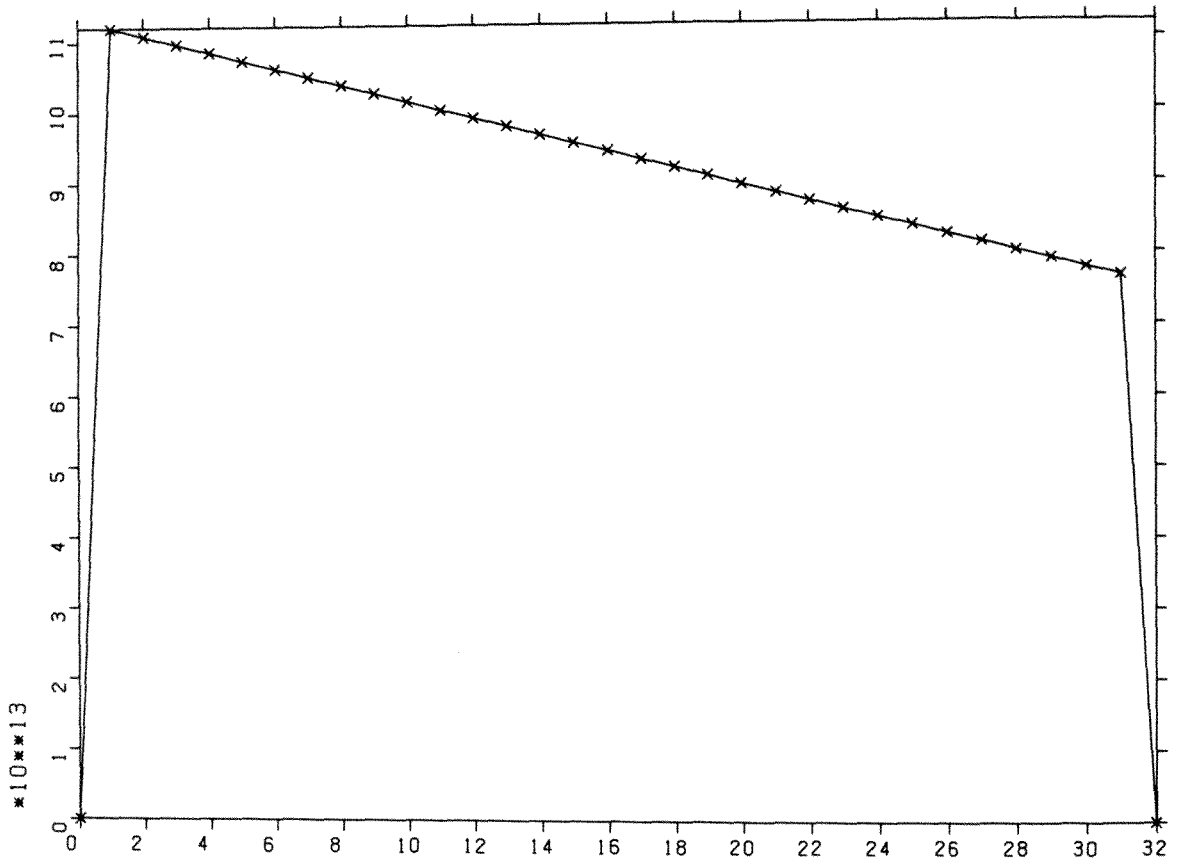


Abb. 6  $X_0(r)$

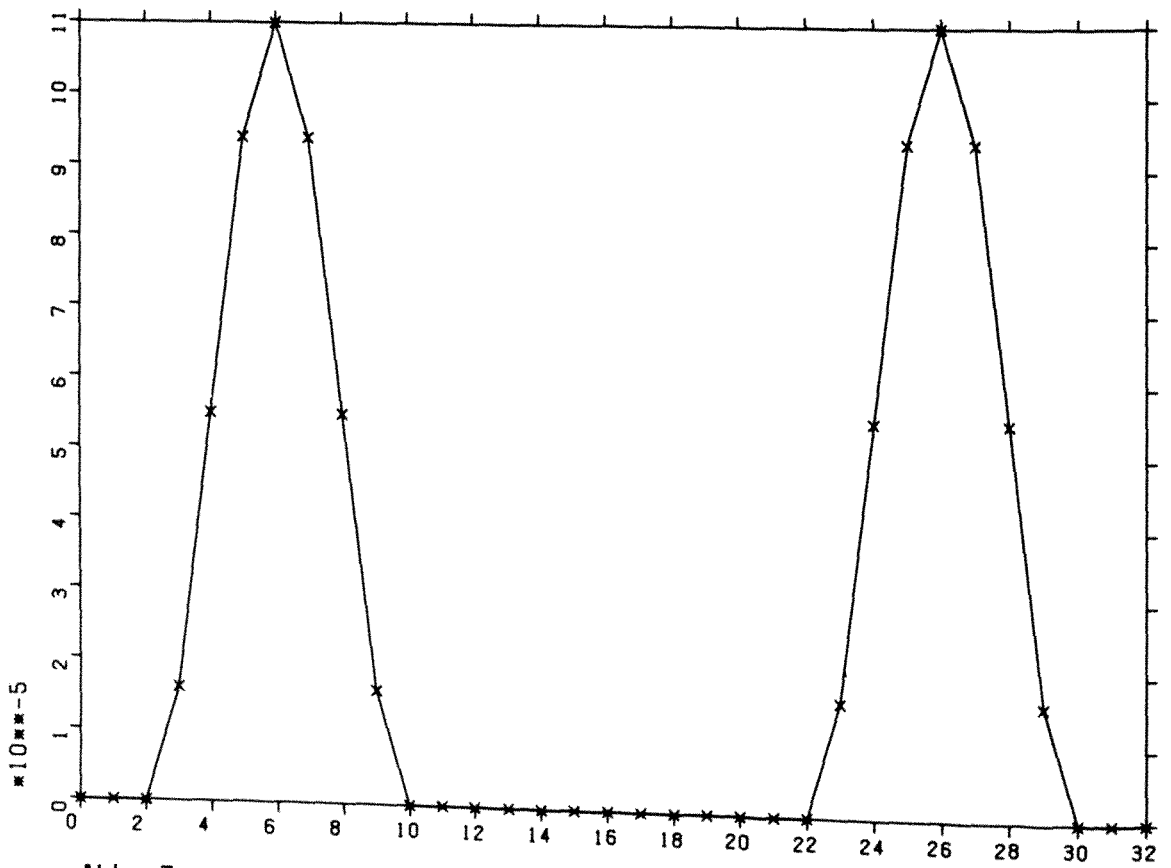


Abb. 7  $u = g_l + g_r$

Zur besseren Anschauung im Vergleich mit der geregelten Schwingung zeigen die Abbildungen 8 - 12 den Verlauf der unregelmäßigen Schwingung über 60 Stunden.

Abb. 8 unregelmäßige Schwingung von  $\phi(r) - \phi^*(r)$

Abb. 9 " " "  $I(r) - I^*(r)$

Abb. 10 " " "  $X(r) - X^*(r)$

Abb. 11 " " "  $Q$

Abb. 12 " " "  $(\phi - \phi^*)_{k_1}$

und  $(\phi - \phi^*)_{k_2}$

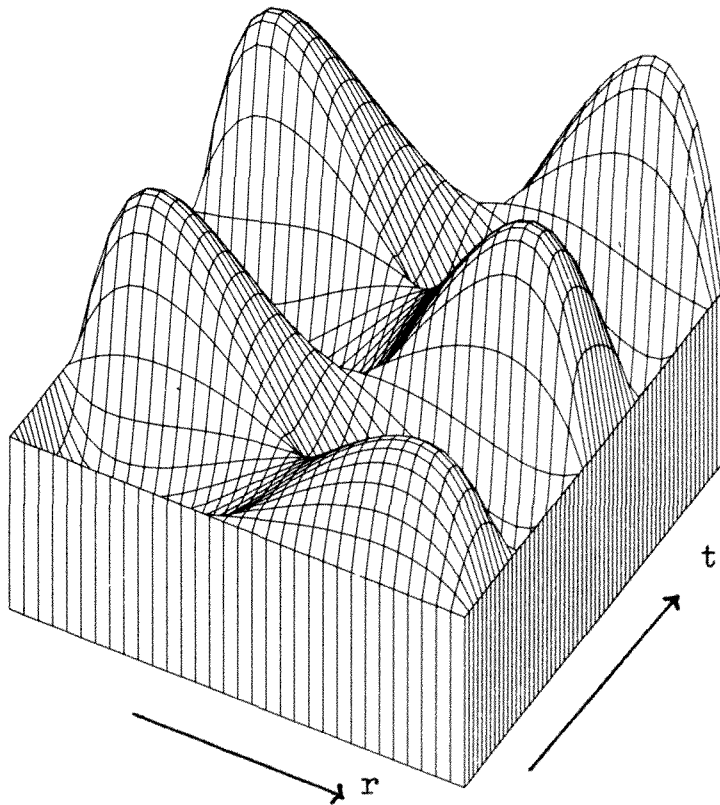
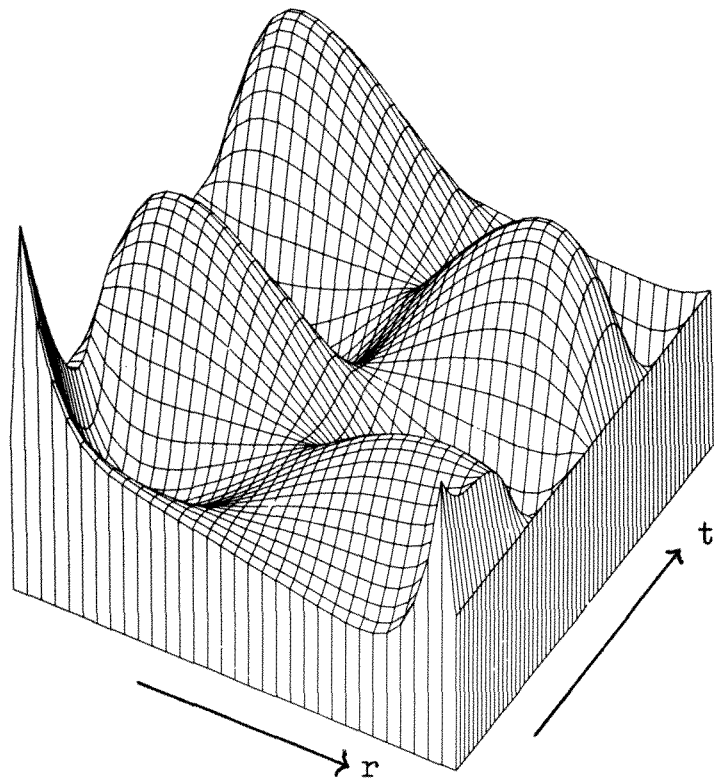
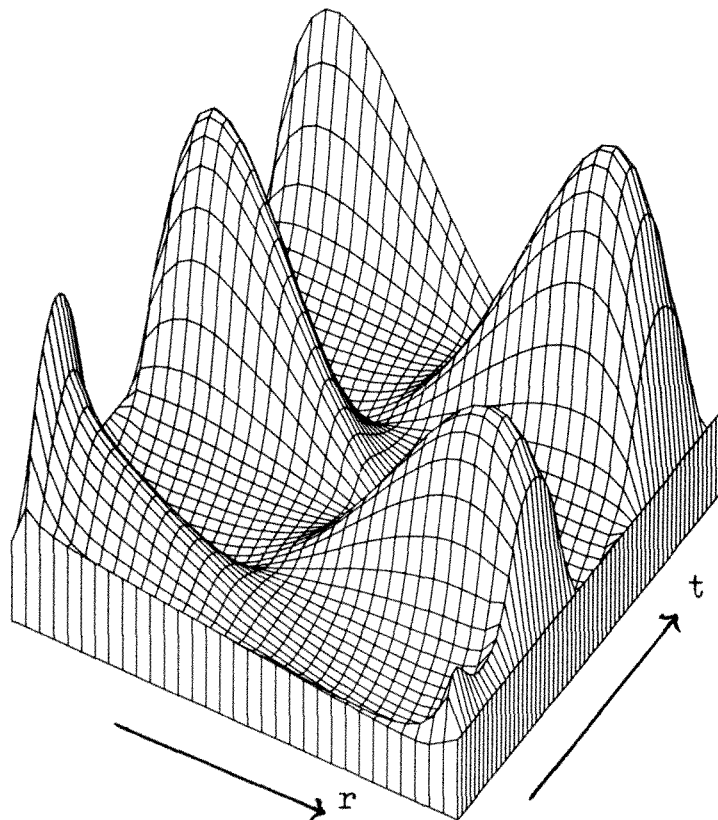
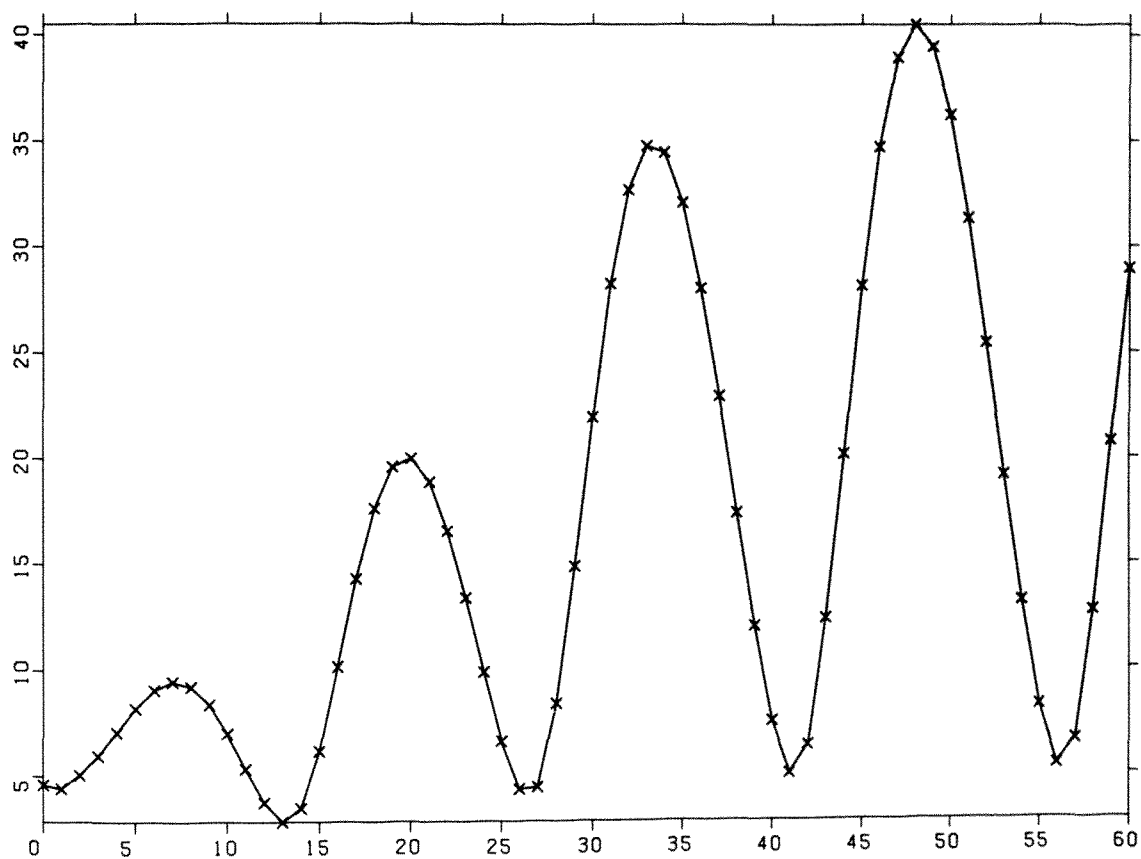
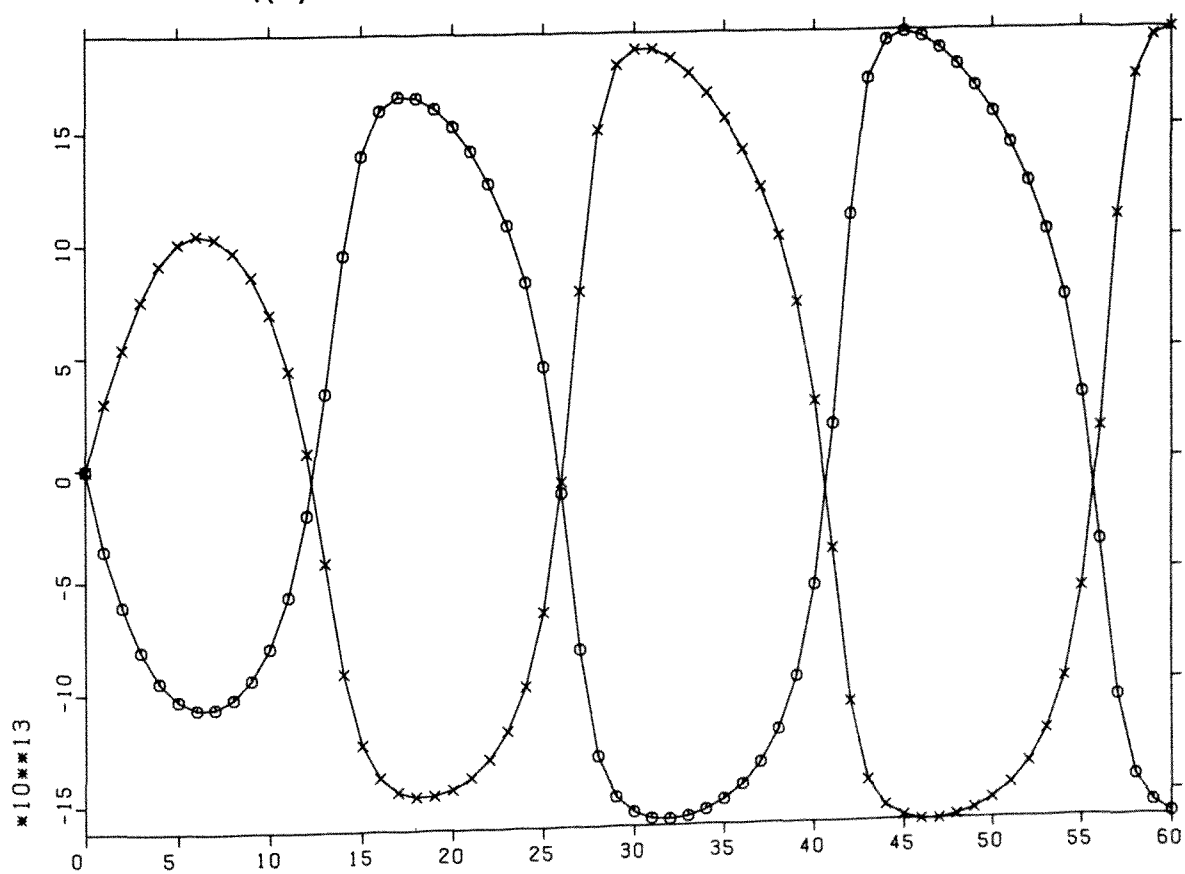


Abb. 8  $\phi - \phi^*$

Abb. 9  $I - I^*$ Abb. 10  $X - X^*$



Abb. 11  $Q(t)$ Abb. 12 Symbol  $\circ$  :  $(\phi - \phi^*)_{k_1}(t)$  , Symbol  $\times$  :  $(\phi - \phi^*)_{k_2}(t)$

### § 16. Programmausgabe

Vom Programm werden ausgegeben:

- a) die Eingabedaten,
- b) stationäre und Anfangswerte,
- c) der Verlauf von  $Q$ ,  $V_1$  und  $V_r$  der unregelten Schwingung sowie nach jedem Regelvorgang über jeweils 60 Stunden,
- d) über Filmplotter der Verlauf von  $Q$ ,  $(\phi - \phi^*)_{k_1}$ ,  
 $(\phi - \phi)_{k_2}$  (zweidimensional) und  $\phi - \phi^*$ ,  $I - I^*$ ,  $X - X^*$ ,  
 $u$  (dreidimensional) von  $t = 0$  bis  $t = \text{TEND}$ .

Abb. 13 Verlauf von  $Q$  nach Regelung

Abb. 14 " "  $(\phi - \phi^*)_{k_1}(t)$  und  $(\phi - \phi^*)_{k_2}(t)$  nach Regelung

Abb. 15 " "  $I - I^*$  nach Regelung

Abb. 16 " "  $X - X^*$  " "

Abb. 17 " "  $\phi - \phi^*$  " "

Abb. 18 Regelfunktion  $u$  über den gesamten Regelbereich

Das Beispiel liefert den folgenden Output:

XENON

=====

EINGABEDATEN

-----

F = 1.600000-03

GNULL = 1.100000-04

H = 640.00

L1 = 6

N = 32

L2 = 26

TANF = 25.00

K1 = 5

TEND = 70.00

K2 = 27

STATIONAERE WERTE  
\*\*\*\*\*

	PHI	I	X	SIGMA	GL	GR
1	8.065610+13	2.743400+14	8.320130+13	2.338220-03	0.0	0.0
2	1.312780+14	4.465250+14	9.052900+13	3.192520-03	0.0	0.0
3	1.620150+14	5.510700+14	9.300500+13	3.473370-03	1.610910-05	0.0
4	1.799770+14	6.121680+14	9.410210+13	3.608110-03	5.500000-05	0.0
5	1.900180+14	6.463200+14	9.463410+13	3.682480-03	9.389090-05	0.0
6	1.953430+14	6.644330+14	9.489630+13	3.725630-03	1.100000-04	0.0
7	1.979950+14	6.734540+14	9.502210+13	3.750730-03	9.389090-05	0.0
8	1.992190+14	6.776150+14	9.507910+13	3.764910-03	5.500000-05	0.0
9	1.997320+14	6.793590+14	9.510280+13	3.772500-03	1.610910-05	0.0
10	1.999220+14	6.800060+14	9.511160+13	3.776250-03	0.0	0.0
11	1.999820+14	6.802100+14	9.511440+13	3.777910-03	0.0	0.0
12	1.999970+14	6.802620+14	9.511510+13	3.778550-03	0.0	0.0
13	2.000000+14	6.802710+14	9.511520+13	3.778740-03	0.0	0.0
14	2.000000+14	6.802720+14	9.511520+13	3.778780-03	0.0	0.0
15	2.000000+14	6.802720+14	9.511520+13	3.778790-03	0.0	0.0
16	2.000000+14	6.802720+14	9.511520+13	3.778790-03	0.0	0.0
17	2.000000+14	6.802720+14	9.511520+13	3.778790-03	0.0	0.0
18	2.000000+14	6.802720+14	9.511520+13	3.778780-03	0.0	0.0
19	2.000000+14	6.802710+14	9.511520+13	3.778740-03	0.0	0.0
20	1.999970+14	6.802620+14	9.511510+13	3.778550-03	0.0	0.0
21	1.999820+14	6.802100+14	9.511440+13	3.777910-03	0.0	0.0
22	1.999220+14	6.800060+14	9.511160+13	3.776250-03	0.0	0.0
23	1.997320+14	6.793590+14	9.510280+13	3.772500-03	0.0	1.610910-05
24	1.992190+14	6.776150+14	9.507910+13	3.764910-03	0.0	5.500000-05
25	1.979950+14	6.734540+14	9.502210+13	3.750730-03	0.0	9.389090-05
26	1.953430+14	6.644330+14	9.489630+13	3.725630-03	0.0	1.100000-04
27	1.900180+14	6.463200+14	9.463410+13	3.682480-03	0.0	9.389090-05
28	1.799770+14	6.121680+14	9.410210+13	3.608110-03	0.0	5.500000-05
29	1.620150+14	5.510700+14	9.300500+13	3.473370-03	0.0	1.610910-05
30	1.312780+14	4.465250+14	9.052900+13	3.192520-03	0.0	0.0
31	8.065610+13	2.743400+14	8.320130+13	2.338220-03	0.0	0.0

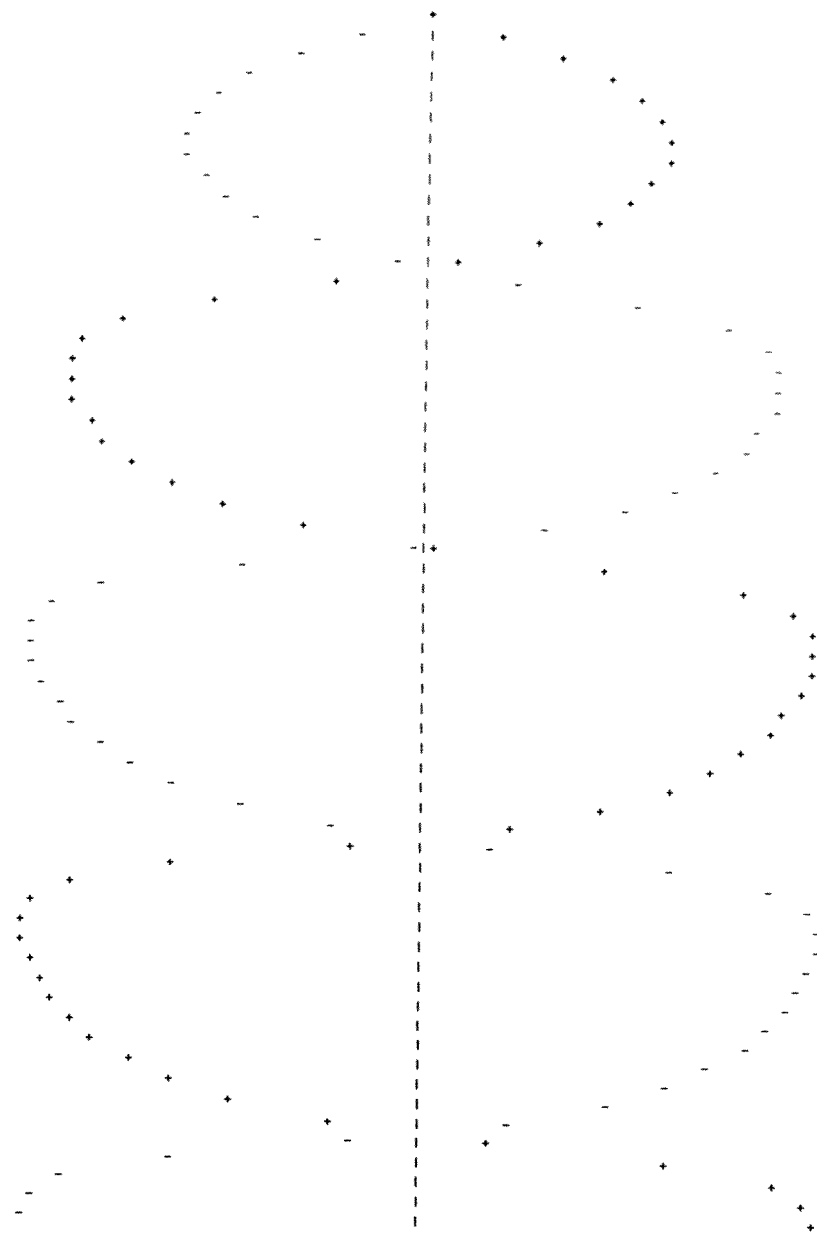
ANFANGSWERTE  
=====

	PHI	I	X
1	8.065610+13	7.112780+14	1.120070+14
2	1.312780+14	7.053510+14	1.108280+14
3	1.620150+14	6.994240+14	1.096490+14
4	1.799770+14	6.934960+14	1.084700+14
5	1.900180+14	6.875690+14	1.072910+14
6	1.953430+14	6.816420+14	1.061120+14
7	1.979950+14	6.757150+14	1.049330+14
8	1.992190+14	6.697870+14	1.037540+14
9	1.997320+14	6.638600+14	1.025750+14
10	1.999220+14	6.579330+14	1.013960+14
11	1.999820+14	6.520050+14	1.002170+14
12	1.999970+14	6.460780+14	9.903780+13
13	2.000000+14	6.401510+14	9.785880+13
14	2.000000+14	6.342230+14	9.667980+13
15	2.000000+14	6.282960+14	9.550080+13
16	2.000000+14	6.223690+14	9.432170+13
17	2.000000+14	6.164410+14	9.314270+13
18	2.000000+14	6.105140+14	9.196370+13
19	2.000000+14	6.045870+14	9.078470+13
20	1.999970+14	5.986590+14	8.960560+13
21	1.999820+14	5.927320+14	8.842660+13
22	1.999220+14	5.868050+14	8.724760+13
23	1.997320+14	5.808770+14	8.606860+13
24	1.992190+14	5.749500+14	8.488960+13
25	1.979950+14	5.690230+14	8.371050+13
26	1.953430+14	5.630950+14	8.253150+13
27	1.900180+14	5.571680+14	8.135250+13
28	1.799770+14	5.512410+14	8.017350+13
29	1.620150+14	5.453130+14	7.899440+13
30	1.312780+14	5.393860+14	7.781540+13
31	8.065610+13	5.334590+14	7.663640+13

T	Q	
0.0	4.585180+00	
1.000	4.418260+00	
2.000	5.052790+00	
3.000	5.961760+00	
4.000	7.068260+00	
5.000	8.189820+00	
6.000	9.064530+00	
7.000	9.455870+00	
8.000	9.228390+00	
9.000	8.373110+00	
10.000	7.001560+00	
11.000	5.338060+00	
12.000	3.743650+00	
13.000	2.814770+00	
14.000	3.457540+00	
15.000	6.175310+00	
16.000	1.016150+01	
17.000	1.429080+01	
18.000	1.763190+01	
19.000	1.960120+01	
20.000	1.999090+01	
21.000	1.888120+01	
22.000	1.654880+01	
23.000	1.339320+01	
24.000	9.894110+00	
25.000	6.618600+00	
26.000	4.345700+00	
27.000	4.435780+00	
28.000	8.394970+00	
29.000	1.485290+01	
30.000	2.192790+01	
31.000	2.823600+01	
32.000	3.267530+01	
33.000	3.475800+01	
34.000	3.445950+01	
35.000	3.206100+01	
36.000	2.803120+01	
37.000	2.293540+01	
38.000	1.738080+01	
39.000	1.200600+01	
40.000	7.538380+00	
41.000	5.043840+00	
42.000	6.397920+00	
43.000	1.236620+01	
44.000	2.016000+01	
45.000	2.812540+01	
46.000	3.470320+01	
47.000	3.892860+01	
48.000	4.046900+01	
49.000	3.943040+01	
50.000	3.620270+01	
51.000	3.133210+01	
52.000	2.543960+01	
53.000	1.917110+01	
54.000	1.319020+01	
55.000	8.242300+00	
56.000	5.411420+00	
57.000	6.624390+00	
58.000	1.272270+01	
59.000	2.073360+01	
60.000	2.894770+01	



T	VL (-)	VR (+)
0.0	0.0	0.0
1.000	-3.335290+14	3.335290+14
2.000	-5.867590+14	5.867590+14
3.000	-8.002160+14	8.002160+14
4.000	-9.539820+14	9.539820+14
5.000	-1.045790+15	1.045790+15
6.000	-1.082970+15	1.082970+15
7.000	-1.072910+15	1.072910+15
8.000	-1.018500+15	1.018500+15
9.000	-9.162200+14	9.162200+14
10.000	-7.536810+14	7.536810+14
11.000	-5.050440+14	5.050440+14
12.000	-1.283970+14	1.283970+14
13.000	3.996710+14	-3.996710+14
14.000	9.631650+14	-9.631650+14
15.000	1.349380+15	-1.349380+15
16.000	1.529030+15	-1.529030+15
17.000	1.597140+15	-1.597140+15
18.000	1.608810+15	-1.608810+15
19.000	1.583120+15	-1.583120+15
20.000	1.527190+15	-1.527190+15
21.000	1.441710+15	-1.441710+15
22.000	1.321820+15	-1.321820+15
23.000	1.154980+15	-1.154980+15
24.000	9.144000+14	-9.144000+14
25.000	5.440830+14	-5.440830+14
26.000	-4.978440+13	4.978440+13
27.000	-8.407090+14	8.407090+14
28.000	-1.439420+15	1.439420+15
29.000	-1.680050+15	1.680050+15
30.000	-1.757850+15	1.757850+15
31.000	-1.778290+15	1.778290+15
32.000	-1.763250+15	1.763250+15
33.000	-1.723060+15	1.723060+15
34.000	-1.660910+15	1.660910+15
35.000	-1.576620+15	1.576620+15
36.000	-1.466500+15	1.466500+15
37.000	-1.321970+15	1.321970+15
38.000	-1.125690+15	1.125690+15
39.000	-8.413910+14	8.413910+14
40.000	-3.934010+14	3.934010+14
41.000	3.212040+14	-3.212040+14
42.000	1.140920+15	-1.140920+15
43.000	1.614670+15	-1.614670+15
44.000	1.766290+15	-1.766290+15
45.000	1.816000+15	-1.816000+15
46.000	1.820760+15	-1.820760+15
47.000	1.796490+15	-1.796490+15
48.000	1.750080+15	-1.750080+15
49.000	1.683700+15	-1.683700+15
50.000	1.596460+15	-1.596460+15
51.000	1.484380+15	-1.484380+15
52.000	1.338860+15	-1.338860+15
53.000	1.142660+15	-1.142660+15
54.000	8.599130+14	-8.599130+14
55.000	4.151210+14	-4.151210+14
56.000	-2.991540+14	2.991540+14
57.000	-1.132190+15	1.132190+15
58.000	-1.619100+15	1.619100+15
59.000	-1.773310+15	1.773310+15
60.000	-1.823650+15	1.823650+15





1. REGELUNG      TQMAX = 33.375000+00      QMAX = 3.492400+01      TM = 31.619210+00      TI = 3.736420+00

T	Q	
25.000	6.618600+00	I
26.000	4.345700+00	I
27.000	4.435780+00	I
27.883	7.706850+00	RI
28.000	7.784290+00	RI
29.000	8.717940+00	RI
30.000	8.984830+00	RI
31.000	8.307560+00	RI
32.000	6.713040+00	RI
33.000	4.487930+00	RI
34.000	2.178010+00	RI
35.000	5.965720-01	RIS
35.356	3.889220-01	RIS
36.000	2.299970-01	S
37.000	1.816840-01	S
38.000	1.897790-01	S
39.000	1.833600-01	S
40.000	1.605660-01	S
41.000	1.353650-01	S
42.000	1.215270-01	S
43.000	1.286700-01	S
44.000	1.610250-01	S
45.000	2.161710-01	S
46.000	2.839160-01	IS
47.000	3.468440-01	IS
48.000	3.840700-01	IS
49.000	3.783720-01	IS
50.000	3.259830-01	IS
51.000	2.485080-01	S
52.000	2.067880-01	S
53.000	3.141210-01	IS
54.000	7.285140-01	IS
55.000	1.573320+00	I
56.000	2.798750+00	I
57.000	4.156590+00	I
58.000	5.324740+00	I
59.000	6.032870+00	I
60.000	6.134540+00	I
61.000	5.626110+00	I
62.000	4.635060+00	I
63.000	3.408420+00	I
64.000	2.342340+00	I
65.000	2.123230+00	I
66.000	3.836700+00	I
67.000	7.796870+00	I
68.000	1.278460+01	I
69.000	1.769600+01	I
70.000	2.154520+01	I
71.000	2.373060+01	I
72.000	2.407020+01	I
73.000	2.269090+01	I
74.000	1.992480+01	I
75.000	1.622490+01	I
76.000	1.211530+01	I
77.000	8.182280+00	I
78.000	5.162160+00	I
79.000	4.259960+00	I
80.000	7.284820+00	I
81.000	1.369180+01	I
82.000	2.112870+01	I
83.000	2.820520+01	I

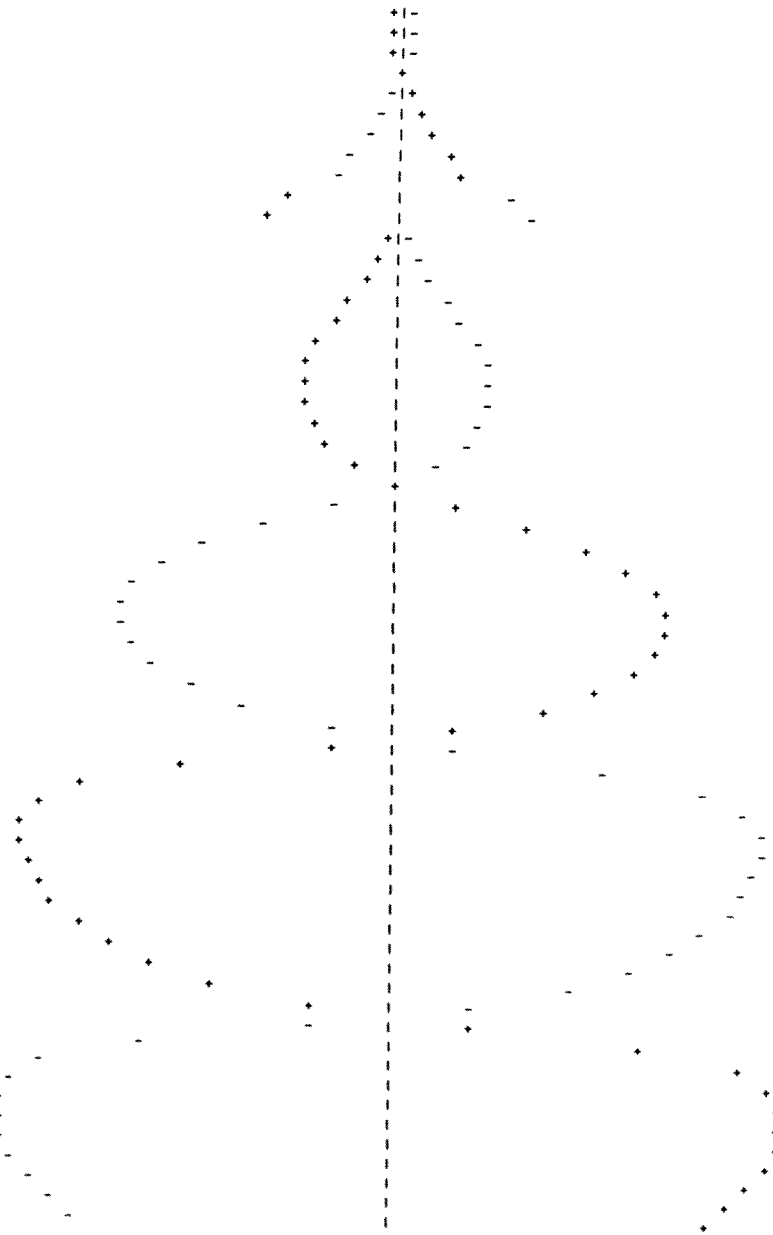


2. REGELUNG      TQMAX = 48.37500D+00    QMAX = 3.87825D-01      TM = 45.01936D+00    TI = 2.26106D-01

T	Q	
36.000	2.29997D-01	S
37.000	1.81684D-01	S
38.000	1.89779D-01	S
39.000	1.83360D-01	S
40.000	1.60566D-01	S
41.000	1.35365D-01	S
42.000	1.21527D-01	S
43.000	1.28670D-01	S
44.000	1.61025D-01	S
44.793	2.02858D-01	RS
45.000	6.28649D-02	RS
45.245	1.84498D-02	RS
46.000	2.44560D-02	S
47.000	4.33902D-02	S
48.000	7.88577D-02	S
49.000	1.34443D-01	S
50.000	2.08856D-01	S
51.000	2.93450D-01	IS
52.000	3.71879D-01	IS
53.000	4.23114D-01	IS
54.000	4.28249D-01	IS
55.000	3.80367D-01	IS
56.000	2.96411D-01	IS
57.000	2.31503D-01	S
58.000	2.94377D-01	IS
59.000	6.47702D-01	IS
60.000	1.44170D+00	I S
61.000	2.66530D+00	I S
62.000	4.08557D+00	I S
63.000	5.36701D+00	I S
64.000	6.21081D+00	I S
65.000	6.43952D+00	I S
66.000	6.02426D+00	I S
67.000	5.07367D+00	I S
68.000	3.81659D+00	I S
69.000	2.61689D+00	I S
70.000	2.08384D+00	I S
71.000	3.25868D+00	I S
72.000	6.83796D+00	I S
73.000	1.17797D+01	I S
74.000	1.68987D+01	I S
75.000	2.11544D+01	I S
76.000	2.38257D+01	I S
77.000	2.46358D+01	I S
78.000	2.36496D+01	I S
79.000	2.11615D+01	I S
80.000	1.76034D+01	I S
81.000	1.34870D+01	I S
82.000	9.38123D+00	I S
83.000	5.96339D+00	I S
84.000	4.25945D+00	I S
85.000	6.02964D+00	I S
86.000	1.17903D+01	I S
87.000	1.90883D+01	I S
88.000	2.64382D+01	I S
89.000	3.24022D+01	I S
90.000	3.61145D+01	I S
91.000	3.72905D+01	I S
92.000	3.60567D+01	I S
93.000	3.28007D+01	I S
94.000	2.80578D+01	I S

T	VL (-)	VR (+)
36.000	6.138310+13	-6.138310+13
37.000	4.727370+13	-4.727370+13
38.000	2.619450+13	-2.619450+13
39.000	-4.177240+12	4.177240+12
40.000	-4.491460+13	4.491460+13
41.000	-9.577550+13	9.577550+13
42.000	-1.550270+14	1.550270+14
43.000	-2.192150+14	2.192150+14
44.000	-2.831980+14	2.831980+14
44.793	4.894180+14	-4.894180+14
45.000	6.147050+14	-6.147050+14
45.245	5.730250+13	-5.730250+13
46.000	9.692290+13	-9.692290+13
47.000	1.559070+14	-1.559070+14
48.000	2.207480+14	-2.207480+14
49.000	2.865610+14	-2.865610+14
50.000	3.469610+14	-3.469610+14
51.000	3.946320+14	-3.946320+14
52.000	4.220170+14	-4.220170+14
53.000	4.217500+14	-4.217500+14
54.000	3.864940+14	-3.864940+14
55.000	3.080970+14	-3.080970+14
56.000	1.769570+14	-1.769570+14
57.000	-1.662170+13	1.662170+13
58.000	-2.742970+14	2.742970+14
59.000	-5.725630+14	5.725630+14
60.000	-8.549050+14	8.549050+14
61.000	-1.065430+15	1.065430+15
62.000	-1.188540+15	1.188540+15
63.000	-1.239230+15	1.239230+15
64.000	-1.234620+15	1.234620+15
65.000	-1.182990+15	1.182990+15
66.000	-1.083360+15	1.083360+15
67.000	-9.241930+14	9.241930+14
68.000	-6.777270+14	6.777270+14
69.000	-2.904020+14	2.904020+14
70.000	2.944780+14	-2.944780+14
71.000	9.636070+14	-9.636070+14
72.000	1.414600+15	-1.414600+15
73.000	1.602930+15	-1.602930+15
74.000	1.669270+15	-1.669270+15
75.000	1.681170+15	-1.681170+15
76.000	1.657930+15	-1.657930+15
77.000	1.607340+15	-1.607340+15
78.000	1.531070+15	-1.531070+15
79.000	1.426260+15	-1.426260+15
80.000	1.284630+15	-1.284630+15
81.000	1.088400+15	-1.088400+15
82.000	8.000000+14	-8.000000+14
83.000	3.427330+14	-3.427330+14
84.000	-3.746180+14	3.746180+14
85.000	-1.161330+15	1.161330+15
86.000	-1.601100+15	1.601100+15
87.000	-1.744430+15	1.744430+15
88.000	-1.791810+15	1.791810+15
89.000	-1.794720+15	1.794720+15
90.000	-1.768490+15	1.768490+15
91.000	-1.719650+15	1.719650+15
92.000	-1.649990+15	1.649990+15
93.000	-1.558150+15	1.558150+15
94.000	-1.439240+15	1.439240+15

R  
R  
R

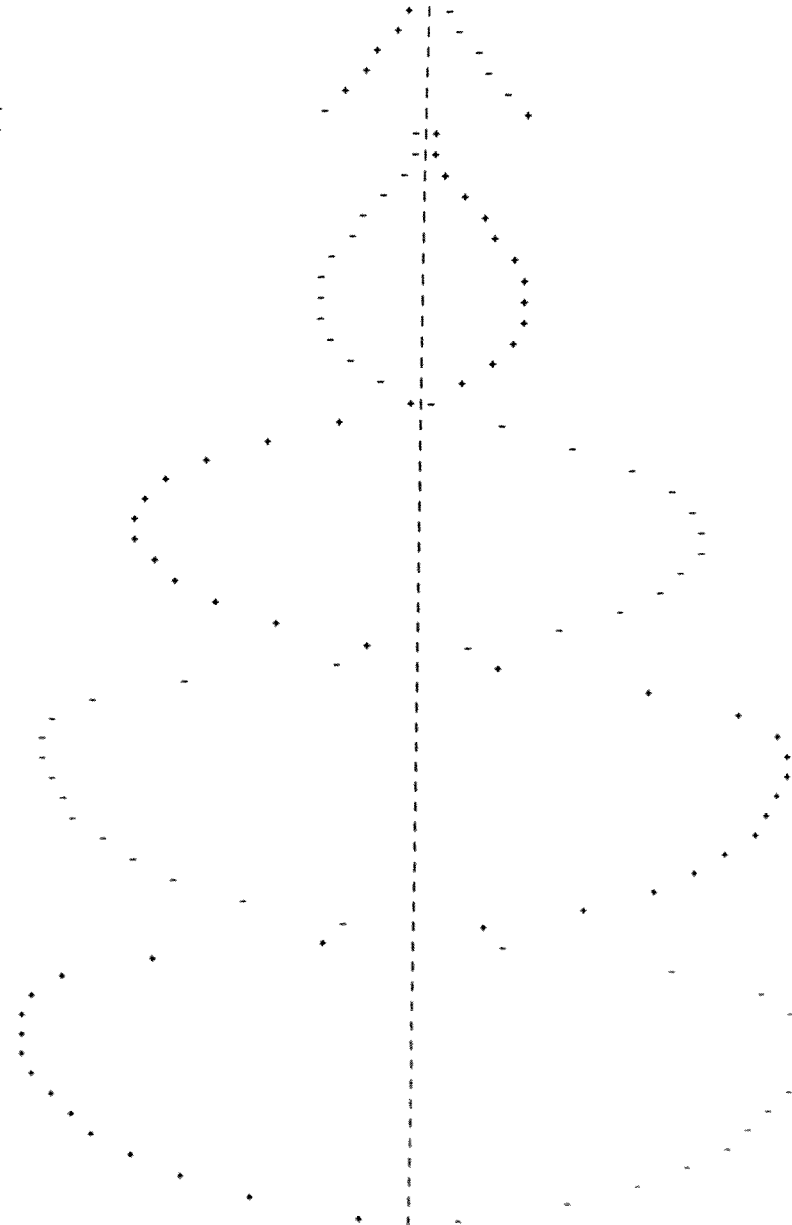


3. REGELUNG      T<sub>OMAX</sub> = 53.625000+00    Q<sub>MAX</sub> = 4.328240-01    T<sub>M</sub> = 50.271440+00    T<sub>I</sub> = 2.306800-01

T	Q	
46.000	2.445600-02	S
47.000	4.339020-02	S
48.000	7.885770-02	S
49.000	1.344430-01	S
50.000	2.088560-01	S
50.041	2.119200-01	L S
50.502	1.303070-02	L S
51.000	1.257400-02	S
52.000	2.318520-02	S
53.000	5.129050-02	S
54.000	1.013150-01	S
55.000	1.759300-01	S
56.000	2.715380-01	IS
57.000	3.754060-01	IS
58.000	4.660130-01	IS
59.000	5.178620-01	IS
60.000	5.104670-01	IS
61.000	4.403390-01	IS
62.000	3.349690-01	IS
63.000	2.697510-01	IS
64.000	3.860500-01	IS
65.000	8.828130-01	I S
66.000	1.907310+00	I S
67.000	3.373740+00	I S
68.000	4.964730+00	I S
69.000	6.303450+00	I S
70.000	7.091190+00	I S
71.000	7.178140+00	I S
72.000	6.574810+00	I S
73.000	5.430080+00	I S
74.000	4.012190+00	I S
75.000	2.731210+00	I S
76.000	2.275710+00	I S
77.000	3.788670+00	I S
78.000	7.785010+00	I S
79.000	1.299760+01	I S
80.000	1.824850+01	I S
81.000	2.248140+01	I S
82.000	2.501740+01	I S
83.000	2.562570+01	I S
84.000	2.440930+01	I S
85.000	2.169120+01	I S
86.000	1.792560+01	I S
87.000	1.363960+01	I S
88.000	9.415570+00	I S
89.000	5.948550+00	I S
90.000	4.300560+00	I S
91.000	6.271410+00	I S
92.000	1.221590+01	I S
93.000	1.962310+01	I S
94.000	2.702490+01	I S
95.000	3.297570+01	I S
96.000	3.663170+01	I S
97.000	3.772890+01	I S
98.000	3.640860+01	I S
99.000	3.306950+01	I S
100.000	2.825270+01	I S
101.000	2.256620+01	I S
102.000	1.664390+01	I S
103.000	1.115060+01	I S
104.000	6.877580+00	I S

T	VL (-)	VR (+)
46.000	9.692290+13	-9.692290+13
47.000	1.559070+14	-1.559070+14
48.000	2.207480+14	-2.207480+14
49.000	2.865610+14	-2.865610+14
50.000	3.469610+14	-3.469610+14
50.041	-4.510860+14	4.510860+14
50.502	-3.083630+13	3.083630+13
51.000	-5.655150+13	5.655150+13
52.000	-1.138150+14	1.138150+14
53.000	-1.804940+14	1.804940+14
54.000	-2.526980+14	2.526980+14
55.000	-3.245930+14	3.245930+14
56.000	-3.887730+14	3.887730+14
57.000	-4.371110+14	4.371110+14
58.000	-4.616070+14	4.616070+14
59.000	-4.546790+14	4.546790+14
60.000	-4.086730+14	4.086730+14
61.000	-3.146850+14	3.146850+14
62.000	-1.617200+14	1.617200+14
63.000	6.088100+13	-6.088100+13
64.000	3.514560+14	-3.514560+14
65.000	6.735460+14	-6.735460+14
66.000	9.568850+14	-9.568850+14
67.000	1.149830+15	-1.149830+15
68.000	1.251860+15	-1.251860+15
69.000	1.285540+15	-1.285540+15
70.000	1.267890+15	-1.267890+15
71.000	1.205430+15	-1.205430+15
72.000	1.095400+15	-1.095400+15
73.000	9.241250+14	-9.241250+14
74.000	6.601960+14	-6.601960+14
75.000	2.442680+14	-2.442680+14
76.000	-3.763170+14	3.763170+14
77.000	-1.047320+15	1.047320+15
78.000	-1.463420+15	1.463420+15
79.000	-1.626990+15	1.626990+15
80.000	-1.683280+15	1.683280+15
81.000	-1.689520+15	1.689520+15
82.000	-1.662550+15	1.662550+15
83.000	-1.609140+15	1.609140+15
84.000	-1.530410+15	1.530410+15
85.000	-1.423200+15	1.423200+15
86.000	-1.278810+15	1.278810+15
87.000	-1.078770+15	1.078770+15
88.000	-7.842420+14	7.842420+14
89.000	-3.160160+14	3.160160+14
90.000	4.146680+14	-4.146680+14
91.000	1.196010+15	-1.196010+15
92.000	1.618250+15	-1.618250+15
93.000	1.753440+15	-1.753440+15
94.000	1.798110+15	-1.798110+15
95.000	1.799300+15	-1.799300+15
96.000	1.772040+15	-1.772040+15
97.000	1.722460+15	-1.722460+15
98.000	1.652270+15	-1.652270+15
99.000	1.559970+15	-1.559970+15
100.000	1.440630+15	-1.440630+15
101.000	1.283830+15	-1.283830+15
102.000	1.068520+15	-1.068520+15
103.000	7.501990+14	-7.501990+14
104.000	2.387620+14	-2.387620+14

L  
L



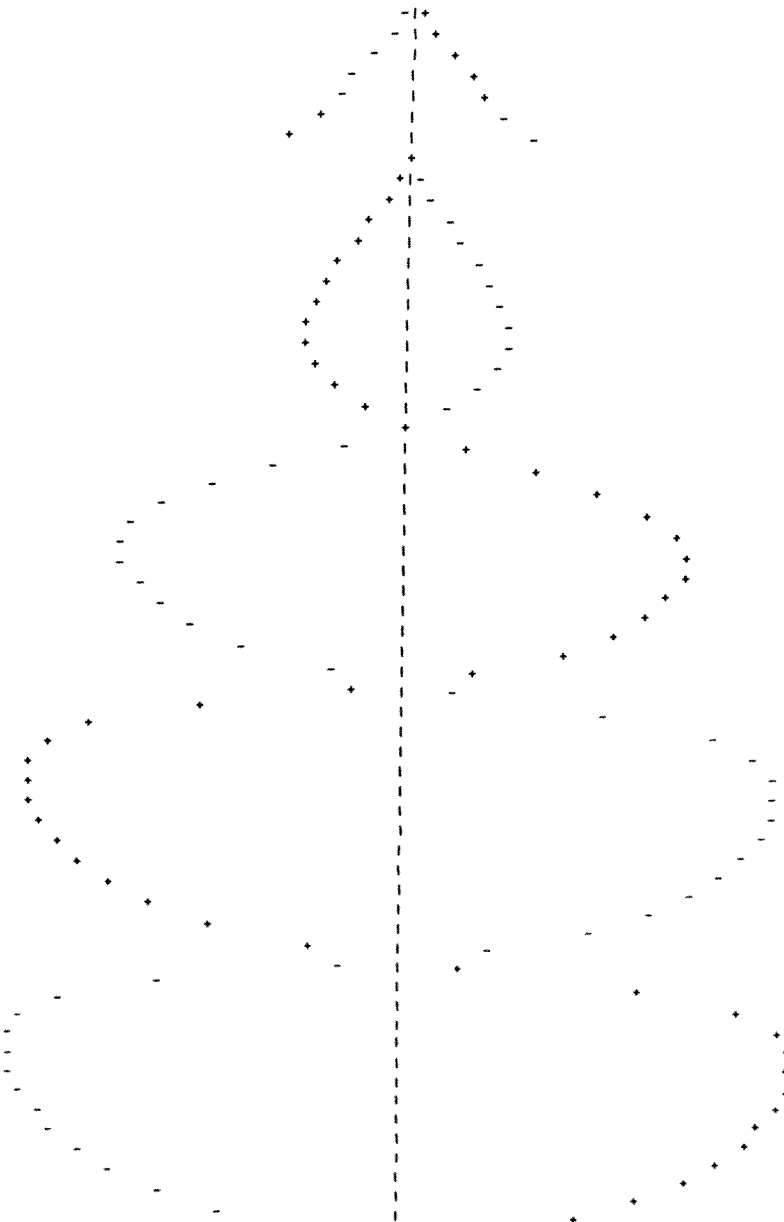
4. REGELUNG      T<sub>MAX</sub> = 59.375000+00      Q<sub>MAX</sub> = 5.230490-01      T<sub>H</sub> = 56.025620+00      T<sub>I</sub> = 2.398510-01

T	Q	
51.000	1.257400-02	S
52.000	2.318520-02	S
53.000	5.129050-02	S
54.000	1.013150-01	S
55.000	1.759300-01	S
55.786	2.489110-01	RS
56.000	8.380650-02	RS
56.265	1.188300-02	RS
57.000	9.345950-03	S
58.000	1.728430-02	S
59.000	4.007000-02	S
60.000	8.219060-02	S
61.000	1.469430-01	S
62.000	2.325960-01	S
63.000	3.294410-01	IS
64.000	4.192580-01	IS
65.000	4.786130-01	IS
66.000	4.863440-01	IS
67.000	4.342410-01	IS
68.000	3.398730-01	IS
69.000	2.618930-01	IS
70.000	3.176190-01	IS
71.000	6.854000-01	IS
72.000	1.532160+00	I S
73.000	2.845020+00	I S
74.000	4.367900+00	I S S
75.000	5.740070+00	I S S
76.000	6.644970+00	I S S
77.000	6.896990+00	I S S
78.000	6.467350+00	I S S
79.000	5.469240+00	I S S
80.000	4.137510+00	I S S
81.000	2.838060+00	I S S
82.000	2.171010+00	I S S
83.000	3.178360+00	I S S
84.000	6.679940+00	I S S
85.000	1.168360+01	I S S
86.000	1.695090+01	I S S
87.000	2.141160+01	I S S
88.000	2.429650+01	I S S
89.000	2.529110+01	I S S
90.000	2.443940+01	I S S
91.000	2.202380+01	I S S
92.000	1.847440+01	I S S
93.000	1.430210+01	I S S
94.000	1.007320+01	I S S
95.000	6.448210+00	I S S
96.000	4.386170+00	I S S
97.000	5.573310+00	I S S
98.000	1.095890+01	I S S
99.000	1.819350+01	I S S
100.000	2.566780+01	I S S
101.000	3.191970+01	I S S
102.000	3.598790+01	I S S
103.000	3.751830+01	I S S
104.000	3.659280+01	I S S
105.000	3.357220+01	I S S
106.000	2.897770+01	I S S
107.000	2.340990+01	I S S
108.000	1.750030+01	I S S
109.000	1.190640+01	I S S



T	VL [-]	VR [+]
51.000	-5.655150+13	5.655150+13
52.000	-1.138150+14	1.138150+14
53.000	-1.804940+14	1.804940+14
54.000	-2.526980+14	2.526980+14
55.000	-3.245930+14	3.245930+14
55.786	4.252620+14	-4.252620+14
56.000	5.531590+14	-5.531590+14
56.265	1.436270+13	-1.436270+13
57.000	4.712380+13	-4.712380+13
58.000	9.987730+13	-9.987730+13
59.000	1.621570+14	-1.621570+14
60.000	2.307100+14	-2.307100+14
61.000	3.004420+14	-3.004420+14
62.000	3.646200+14	-3.646200+14
63.000	4.155410+14	-4.155410+14
64.000	4.453380+14	-4.453380+14
65.000	4.464530+14	-4.464530+14
66.000	4.113990+14	-4.113990+14
67.000	3.318250+14	-3.318250+14
68.000	1.975330+14	-1.975330+14
69.000	-2.221790+12	2.221790+12
70.000	-2.701280+14	2.701280+14
71.000	-5.814720+14	5.814720+14
72.000	-8.747930+14	8.747930+14
73.000	-1.090320+15	1.090320+15
74.000	-1.213970+15	1.213970+15
75.000	-1.263890+15	1.263890+15
76.000	-1.258800+15	1.258800+15
77.000	-1.207520+15	1.207520+15
78.000	-1.109420+15	1.109420+15
79.000	-9.536720+14	9.536720+14
80.000	-7.136520+14	7.136520+14
81.000	-3.368220+14	3.368220+14
82.000	2.394400+14	-2.394400+14
83.000	9.222540+14	-9.222540+14
84.000	1.400330+15	-1.400330+15
85.000	1.602950+15	-1.602950+15
86.000	1.674260+15	-1.674260+15
87.000	1.689190+15	-1.689190+15
88.000	1.668280+15	-1.668280+15
89.000	1.620000+15	-1.620000+15
90.000	1.546360+15	-1.546360+15
91.000	1.445120+15	-1.445120+15
92.000	1.308740+15	-1.308740+15
93.000	1.121050+15	-1.121050+15
94.000	8.481090+14	-8.481090+14
95.000	4.193620+14	-4.193620+14
96.000	-2.642520+14	2.642520+14
97.000	-1.071840+15	1.071840+15
98.000	-1.567210+15	1.567210+15
99.000	-1.736370+15	1.736370+15
100.000	-1.790310+15	1.790310+15
101.000	-1.798100+15	1.798100+15
102.000	-1.775230+15	1.775230+15
103.000	-1.729340+15	1.729340+15
104.000	-1.662650+15	1.662650+15
105.000	-1.574170+15	1.574170+15
106.000	-1.459680+15	1.459680+15
107.000	-1.309880+15	1.309880+15
108.000	-1.105970+15	1.105970+15
109.000	-8.085710+14	8.085710+14

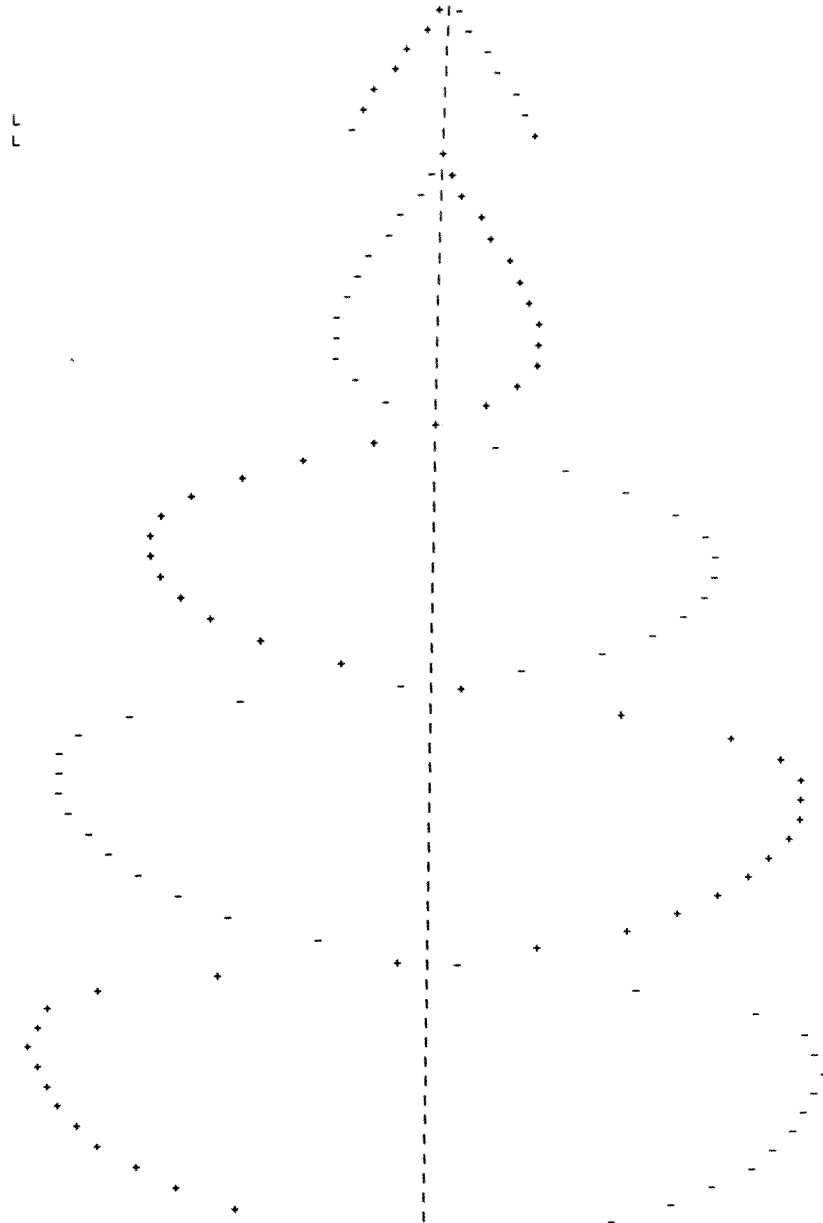
R  
R  
R

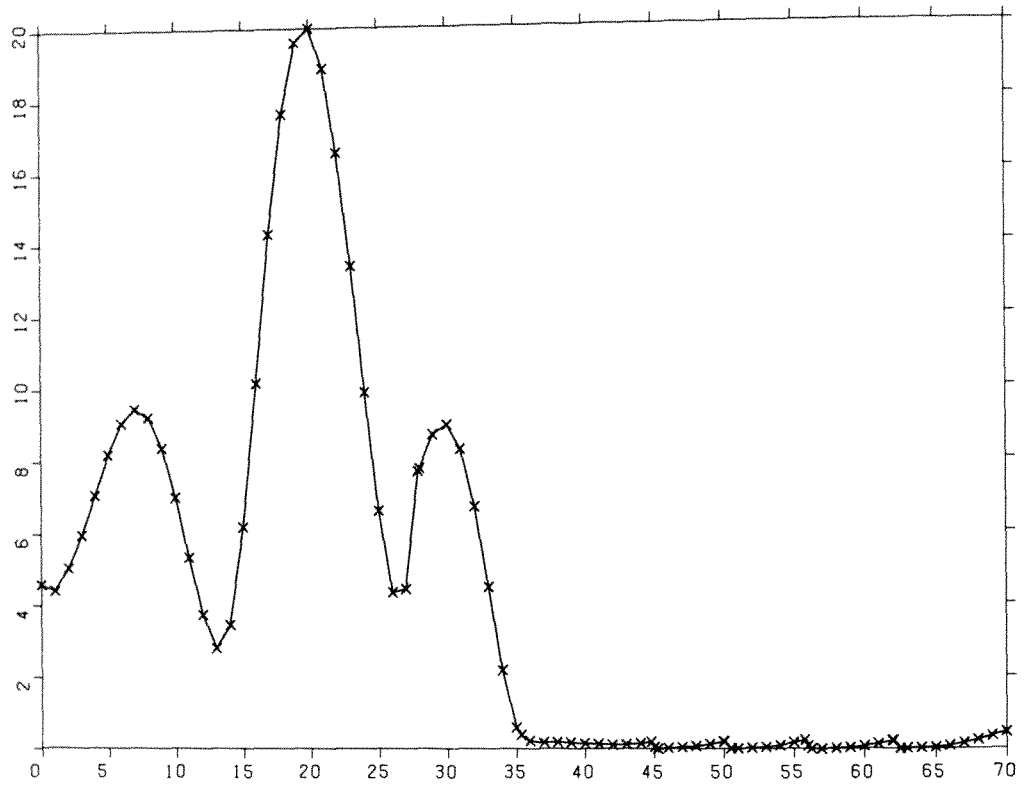
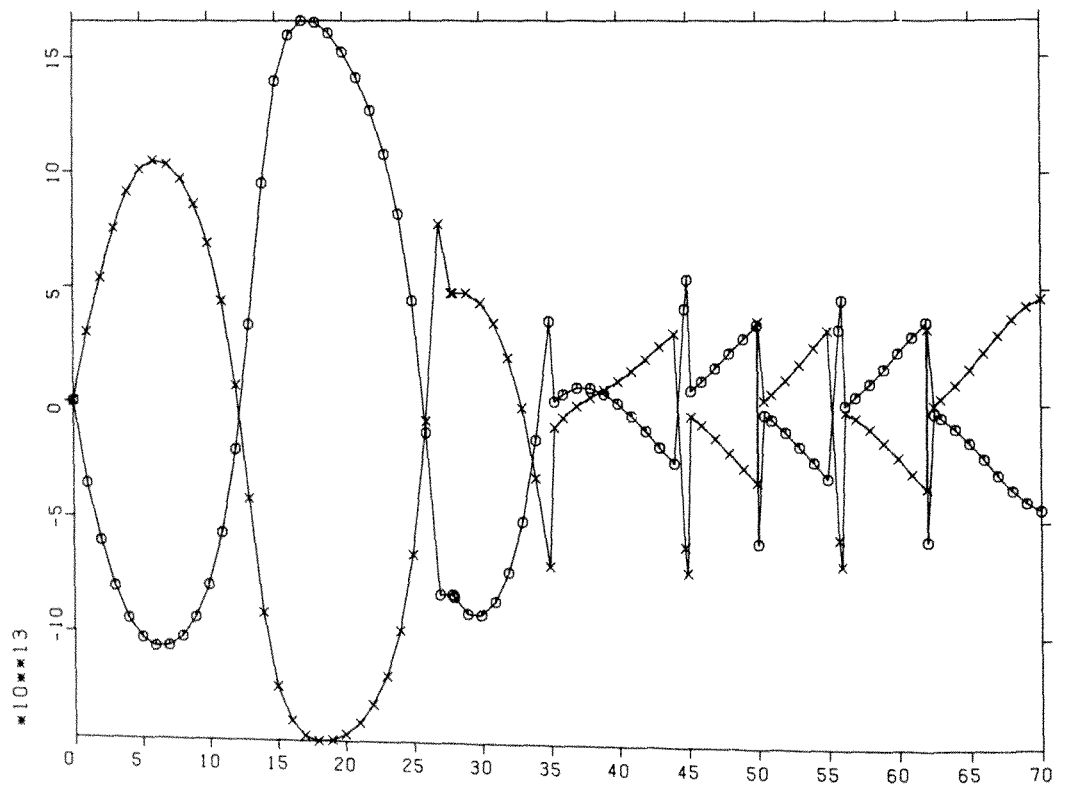


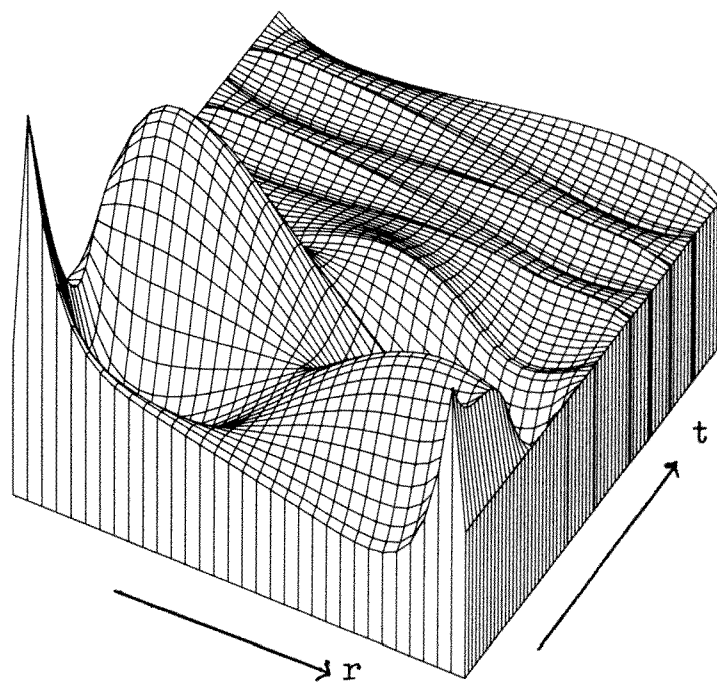
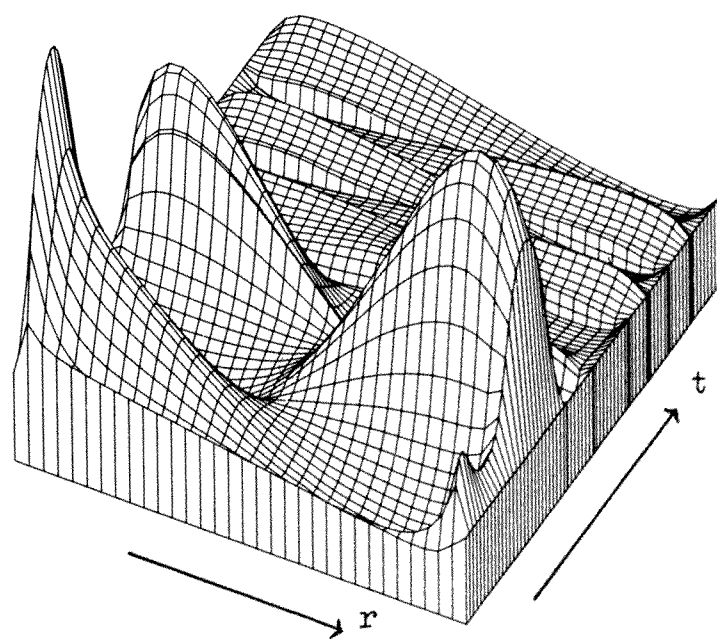
S. REGELUNG      TQMAX = 65.625000+00    QMAX = 4.907240-01    TM = 62.274120+00    TI = 2.365650-01

T	Q	
57.000	9.345950-03	S
58.000	1.728430-02	S
59.000	4.007000-02	S
60.000	8.219060-02	S
61.000	1.469430-01	S
62.000	2.325960-01	S
62.038	2.358430-01	L S
62.511	1.561990-02	L S
63.000	1.260350-02	S
64.000	1.831580-02	S
65.000	4.122450-02	S
66.000	8.547510-02	S
67.000	1.548480-01	S
68.000	2.479390-01	S
69.000	3.546690-01	IS
70.000	4.553400-01	IS
71.000	5.241220-01	IS
72.000	5.371140-01	IS
73.000	4.838220-01	IS
74.000	3.807680-01	IS
75.000	2.876040-01	IS
76.000	3.264590-01	IS
77.000	6.884690-01	IS
78.000	1.561570+00	I S
79.000	2.943980+00	I S
80.000	4.566720+00	I S
81.000	6.046170+00	I S
82.000	7.043980+00	I S
83.000	7.358900+00	I S
84.000	6.953770+00	I S
85.000	5.939240+00	I S
86.000	4.548950+00	I S
87.000	3.143160+00	I S
88.000	2.298040+00	I S
89.000	3.027730+00	I S
90.000	6.313960+00	I S
91.000	1.131150+01	I S
92.000	1.670400+01	I S
93.000	2.139770+01	I S
94.000	2.455620+01	I S
95.000	2.581000+01	I S
96.000	2.516650+01	I S
97.000	2.288840+01	I S
98.000	1.939650+01	I S
99.000	1.519970+01	I S
100.000	1.086150+01	I S
101.000	7.024640+00	I S
102.000	4.578060+00	I S
103.000	5.086420+00	I S
104.000	9.922330+00	I S
105.000	1.704460+01	I S
106.000	2.463120+01	I S
107.000	3.121800+01	I S
108.000	3.572200+01	I S
109.000	3.769980+01	I S
110.000	3.717380+01	I S
111.000	3.446870+01	I S
112.000	3.008730+01	I S
113.000	2.462210+01	I S
114.000	1.870080+01	I S
115.000	1.297290+01	I S

T	VL (-)	VR (+)
57.000	4.712380+13	-4.712380+13
58.000	9.987730+13	-9.987730+13
59.000	1.621570+14	-1.621570+14
60.000	2.307100+14	-2.307100+14
61.000	3.004420+14	-3.004420+14
62.000	3.646200+14	-3.646200+14
62.038	-4.308750+14	4.308750+14
62.511	-1.761060+13	1.761060+13
63.000	-4.145190+13	4.145190+13
64.000	-9.606380+13	9.606380+13
65.000	-1.610780+14	1.610780+14
66.000	-2.331690+14	2.331690+14
67.000	-3.069900+14	3.069900+14
68.000	-3.754630+14	3.754630+14
69.000	-4.304500+14	4.304500+14
70.000	-4.637440+14	4.637440+14
71.000	-4.675980+14	4.675980+14
72.000	-4.344630+14	4.344630+14
73.000	-3.559160+14	3.559160+14
74.000	-2.214260+14	2.214260+14
75.000	-1.928710+13	1.928710+13
76.000	2.551130+14	-2.551130+14
77.000	5.777520+14	-5.777520+14
78.000	8.836300+14	-8.836300+14
79.000	1.107820+15	-1.107820+15
80.000	1.235620+15	-1.235620+15
81.000	1.287660+15	-1.287660+15
82.000	1.284430+15	-1.284430+15
83.000	1.235640+15	-1.235640+15
84.000	1.141460+15	-1.141460+15
85.000	9.921250+14	-9.921250+14
86.000	7.631020+14	-7.631020+14
87.000	4.045450+14	-4.045450+14
88.000	-1.517200+14	1.517200+14
89.000	-8.453850+14	8.453850+14
90.000	-1.364620+15	1.364620+15
91.000	-1.593120+15	1.593120+15
92.000	-1.673630+15	1.673630+15
93.000	-1.693660+15	1.693660+15
94.000	-1.676430+15	1.676430+15
95.000	-1.631400+15	1.631400+15
96.000	-1.561230+15	1.561230+15
97.000	-1.464250+15	1.464250+15
98.000	-1.333940+15	1.333940+15
99.000	-1.155870+15	1.155870+15
100.000	-9.000100+14	9.000100+14
101.000	-5.032460+14	5.032460+14
102.000	1.365340+14	-1.365340+14
103.000	9.558290+14	-9.558290+14
104.000	1.519550+15	-1.519550+15
105.000	1.723920+15	-1.723920+15
106.000	1.789050+15	-1.789050+15
107.000	1.803140+15	-1.803140+15
108.000	1.784500+15	-1.784500+15
109.000	1.742250+15	-1.742250+15
110.000	1.679160+15	-1.679160+15
111.000	1.594830+15	-1.594830+15
112.000	1.485650+15	-1.485650+15
113.000	1.343510+15	-1.343510+15
114.000	1.151900+15	-1.151900+15
115.000	8.766180+14	-8.766180+14



Abb. 13  $Q(t)$ Abb. 14 Symbol  $\circ : (\phi - \phi^*)_{k_1}(t)$ , Symbol  $\times : (\phi - \phi^*)_{k_2}(t)$

Abb. 15  $I - I^*$ Abb. 16  $X - X^*$

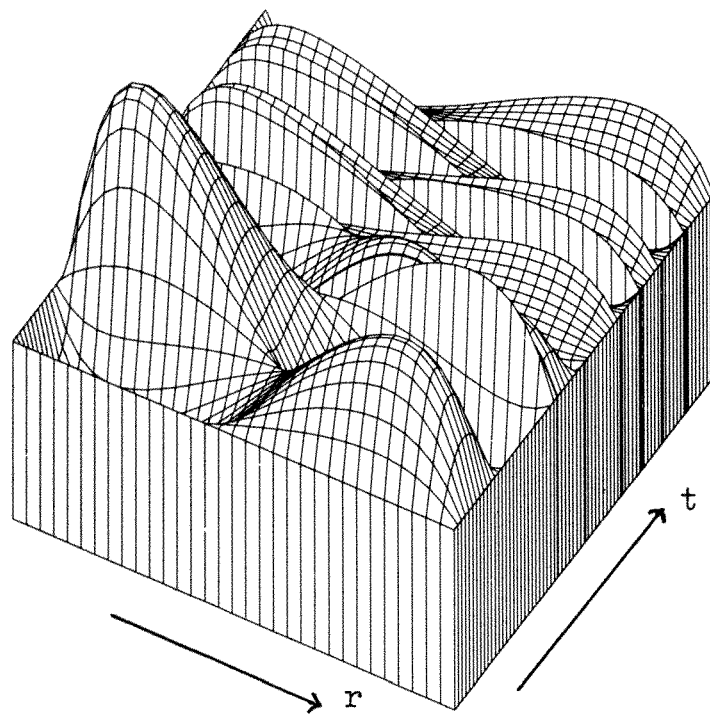


Abb. 17  $\phi - \phi^*$

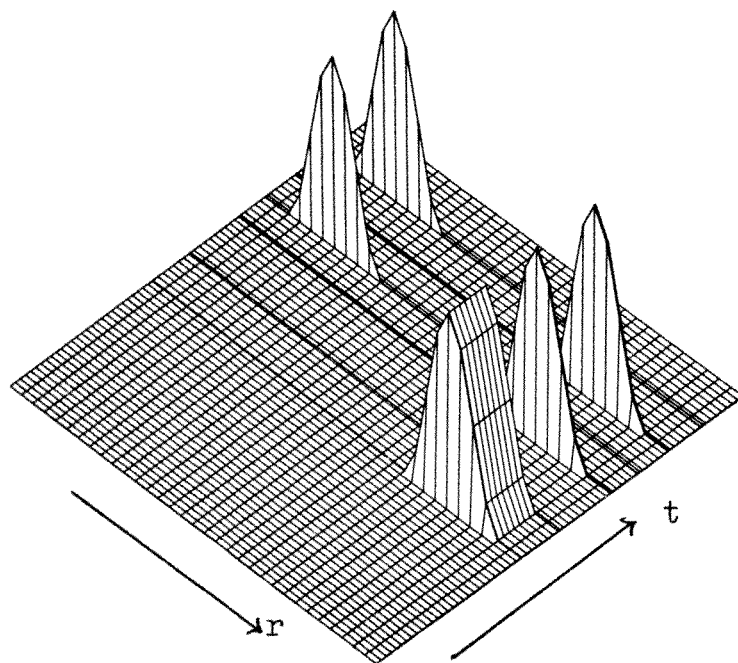


Abb. 18  $u$

## ANHANG

Programmliste

```

ISN 0002      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0003      REAL*8 I,IST,M
ISN 0004      REAL*4 XPLOT(33),FPLLOT(33)
ISN 0005      LOGICAL*1 IPLOT
ISN 0006      DIMENSION PHI(31,61),I(31,61),X(31,61),U(31,61),
*             PHIST(31),IST(31),XST(31),GL(31),GR(31),
*             SIGMA(31),M(31,31),ZO(31),Z1(31)

C
ISN 0007      N1=31
ISN 0008      N=32
ISN 0009      NP1=N+1
ISN 0010      F=1.6D-3
ISN 0011      H=640.0D0
ISN 0012      GNULL=11.D-5
ISN 0013      L1=6
ISN 0014      L2=26
ISN 0015      K1=5
ISN 0016      K2=27
ISN 0017      TANF=25.0D0
ISN 0018      TEND=70.0D0
ISN 0019      IPLOT=.TRUE.

C
ISN 0020      NM1=N-1
ISN 0021      DO 10 J=1,NM1
ISN 0022      PHIST(J)=2.D+14*(1.DD-(2.DD*DFLOAT(J)/DFLOAT(N)-1.DD)**8)
ISN 0023      I(J,1)=1.D+14/DFLOAT(1-NM1)*DFLOAT(J-1)+4.D+14
ISN 0024      10 X(J,1)=0.6D+14/DFLOAT(1-NM1)*DFLOAT(J-1)+1.9D+14

C
ISN 0025      CALL XENON (PHI,I,X,U,SIGMA,PHIST,IST,XST,H,F,GNULL,
*             L1,L2,TANF,TEND,K1,K2,N1,N,NP1,IPLOT,
*             M,ZO,Z1,XPLOT,FPLLOT,GL,GR,IER)

C
ISN 0026      STOP
ISN 0027      END

```



```

ISN 0002      SUBROUTINE XENON (PHI,I,X,U,GSIGMA,PHIST,IST,XST,GH,F,
*              GNULL,L1,L2,TANF,TEND,K1,K2,N1,NP1,NP2,
*              IPLOT,M,ZO,Z1,XPLOT,FPLOT,GL,GR,IER)
ISN 0003      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0004      REAL*8 I,IST,M,NUE
ISN 0005      REAL*4 XPLOT(NP2),FPLOT(NP2),TPLOT,
*              TT(1100),QQ(1100),PNK1(1100),PNK2(1100)
ISN 0006      LOGICAL*1 IPLOT
ISN 0007      DIMENSION PHI(N1,61),I(N1,61),X(N1,61),U(N1,61),
*              PHIST(N1),IST(N1),XST(N1),GL(N1),GR(N1),
*              GSIGMA(N1),M(N1,N1),ZO(N1),Z1(N1),
*              T(61),Q(61),PMN(2,61)
ISN 0008      COMMON NUE,SIGMA,C1,CX,YI,YX,D,H
C
C              * KONSTANTEN *
C              -----
C
ISN 0009      IER=0
ISN 0010      IF(N1.GE.NP1-1) GOTO 1
ISN 0012      IER=1
ISN 0013      GOTO 999
ISN 0014      1 IF(TEND.LE.1000) GOTO 2
ISN 0016      IER=2
ISN 0017      GOTO 999
ISN 0018      2 N=NP1-1
ISN 0019      NH=(N-1)/2
ISN 0020      NH1=NH+1
ISN 0021      NT=61
ISN 0022      DTH=1.00
ISN 0023      H=GH/DFLOAT(NP1)
ISN 0024      PI=4.00*DATAN(1.00)
ISN 0025      NUE=2.4200
ISN 0026      SIGMA=0.980-18
ISN 0027      C1=2.940-05
ISN 0028      CX=2.10-05
ISN 0029      YI=0.6250-01
ISN 0030      YX=0.20-02
ISN 0031      D=1.5600
ISN 0032      WRITE(6,610) F,GNULL,GH,L1,NP1,L2,TANF,K1,TEND,K2
C
C              * STATIONAERE- UND ANFANGSWERTE *
C              -----
C
ISN 0033      SUMI=0.00
ISN 0034      SUMX=0.00
ISN 0035      SUMIN=0.00
ISN 0036      SUMXN=0.00
ISN 0037      DO 10 J=1,N
ISN 0038      IST(J)=YI*F/C1*PHIST(J)
ISN 0039      XST(J)=(YX+YI)/(CX+SIGMA*PHIST(J))*PHIST(J)*F
ISN 0040      SUMI=SUMI+IST(J)
ISN 0041      SUMX=SUMX+XST(J)*PHIST(J)
ISN 0042      SUMIN=SUMIN+I(J,1)
ISN 0043      SUMXN=SUMXN+X(J,1)*PHIST(J)
ISN 0044      GSIGMA(J)=MINO(J-1,1)*PHIST(MAXO(J-1,1))+MINO(N-J,1)*
*              PHIST(MINO(J+1,N))
ISN 0045      GSIGMA(J)=D*(GSIGMA(J)-2.00*PHIST(J))/H/H/PHIST(J)+
*              NUE*F-SIGMA*XST(J)

```

```

ISN 0046      GL(J)=0.00
ISN 0047      GR(J)=0.00
ISN 0048      10 CONTINUE
ISN 0049      L1M4=L1-4
ISN 0050      L1P4=L1+4
ISN 0051      DO 20 J=L1M4,L1P4
ISN 0052      20 GL(J)=GNUL=5.0-1*(1.00+0.51N(P1/4.00*(J-L1+2)))
ISN 0053      L2M4=L2-4
ISN 0054      L2P4=L2+4
ISN 0055      DO 30 J=L2M4,L2P4
ISN 0056      30 GR(J)=GNUL=5.0-1*(1.00+0.51N(P1/4.00*(J-L2+2)))
ISN 0057      SUMI=SUMI/SUMIN
ISN 0058      SUMX=SUMX/SUMXN
ISN 0059      DO 40 J=1,N
ISN 0060      PHI(J,1)=PHIST(J)
ISN 0061      I(J,1)=I(J,1)*SUMI
ISN 0062      X(J,1)=X(J,1)*SUMX
ISN 0063      U(J,1)=0.00
ISN 0064      40 CONTINUE
ISN 0065      WRITE(6,620)
ISN 0066      WRITE(6,630) (J,PHI(J,1),IST(J),XST(J),GSIGMA(J),
      *          GL(J),GR(J),J=1,N)
ISN 0067      WRITE(6,640)
ISN 0068      WRITE(6,650) (J,PHI(J,1),I(J,1),X(J,1),J=1,N)

C
C      * UNGEREGLTE SCHWINGUNG *
C      -----
C

ISN 0069      KPL0T=0
ISN 0070      DO 50 J=1,NP2
ISN 0071      50 XPL0T(J)=J-1
ISN 0072      FPL0T(1)=0.
ISN 0073      FPL0T(NP2)=0.

C

ISN 0074      T(1)=0.00
ISN 0075      DO 60 LT=2,NT
ISN 0076      60 T(LT)=T(LT-1)+DTH
ISN 0077      NREG=0
ISN 0078      OMAXPL=0.00
ISN 0079      PMAXPL=0.00
ISN 0080      65 DO 70 LT=2,NT
ISN 0081      70 CALL PHIX (PHI,I,X,U,PHIST,GSIGMA,M,ZO,Z1,
      *          F,T,1.00,0.00,0.00,GR,N1,N,LT)
ISN 0082      DO 100 LT=1,NT
ISN 0083      O(LT)=0.00
ISN 0084      DO 80 J=1,N
ISN 0085      80 O(LT)=O(LT)+(((J,LT)-IST(J))/IST(J))**2+
      *          ((X(J,LT)-XST(J))/XST(J))**2
ISN 0086      OMAXPL=OMAX1(O(LT),OMAXPL)
ISN 0087      PMN(1,LT)=(PHI(NH1,LT)-PHIST(NH1))/2.00
ISN 0088      PMN(2,LT)=PMN(1,LT)
ISN 0089      DO 90 J=1,NH
ISN 0090      JJ=NH1+J
ISN 0091      PMN(1,LT)=PMN(1,LT)+PHI(J,LT)-PHIST(J)
ISN 0092      90 PMN(2,LT)=PMN(2,LT)+PHI(JJ,LT)-PHIST(JJ)
ISN 0093      100 PMAXPL=OMAX1(OABS(PMN(1,LT)),OABS(PMN(2,LT)),PMAXPL)
ISN 0094      WRITE(6,660)
ISN 0095      IF(IPL0T) CALL DRUCK (O,OMAXPL,PMN,PMAXPL,T,1.00,0.00,0)

C

ISN 0097      DO 110 LT=1,NT
ISN 0098      IF(T(LT),LT,TANF) GOTO 110
ISN 0100      LS=MAXO(LT-1,1)
ISN 0101      IPL=2

```

```

ISN 0102      IF(TANF.LT.TEND) GOTO 300
ISN 0104      LS=LT
ISN 0105      IPL=3
ISN 0106      GOTO 300
ISN 0107      110 CONTINUE
ISN 0108      LS=NT-1
ISN 0109      IPL=1
ISN 0110      GOTO 300

C
C      * REGELUNG *
C      -----
C

ISN 0111      115 NREG=NREG+1
ISN 0112      LIRE=0
ISN 0113      DO 200 LT=2,NT
ISN 0114      CALL PHIX (PHI,I,X,U,PHIST,GSIGMA,M,Z0,Z1,
*              F,T,1,00,0,00,LIRE,GL,GR,N1,N,LT)

ISN 0115      DILT=0,00
ISN 0116      DO 120 J=1,N
ISN 0117      120 DILT)=Q(LT)+(((J,LT)-IST(J))/IST(J))**2+
*              ((X(J,LT)-XST(J))/XST(J))**2

ISN 0118      PMN(1,LT)=(PHI(NH1,LT)-PHIST(NH1))/2,00
ISN 0119      PMN(2,LT)=PMN(1,LT)
ISN 0120      DO 130 J=1,NH
ISN 0121      JJ=NH1+J
ISN 0122      PMN(1,LT)=PMN(1,LT)+PHI(J,LT)-PHIST(J)
ISN 0123      130 PMN(2,LT)=PMN(2,LT)+PHI(JJ,LT)-PHIST(JJ)
ISN 0124      IF(LT,LT,5) GOTO 200
ISN 0126      IF(DILT-2).LE.3,0-1) GOTO 200
ISN 0128      IF(DILT-2).LT,DILT-3).OR,DILT-2).LT,DILT-1)) GOTO 200
ISN 0130      LIRE=DSIGN(1,00,PMN(2,LT-2))
ISN 0131      CALL SPLINE (0,T,OMAX,TOMAX,LT-2)
ISN 0132      TOIFF=-4,6324120-02*OMAX+3,37360800
ISN 0133      TM=TOMAX-TOIFF
ISN 0134      T1=1,118060-05/GNULL*OMAX+0,186687100
ISN 0135      TA=TM-T1
ISN 0136      TE=TM+T1
ISN 0137      IF(TA,GE,T1)) GOTO 205
ISN 0139      200 CONTINUE

C
ISN 0140      205 IF(IPL0T) WRITE(6,660)
ISN 0142      WRITE(6,670) NREG,TOMAX,OMAX,TM,T1

C
ISN 0143      CALL TSORT (T,TA,TE)
ISN 0144      DO 210 LT=1,NT
ISN 0145      IF(T(LT).LT,TA) GOTO 210
ISN 0147      NTA=LT
ISN 0148      GOTO 215
ISN 0149      210 CONTINUE
ISN 0150      215 DO 220 LT=NTA,NT
ISN 0151      IF(T(LT).LT,TE) GOTO 220
ISN 0153      LS=LT
ISN 0154      GOTO 225
ISN 0155      220 CONTINUE
ISN 0156      225 IF(TEND,GT,TE+10,00) GOTO 235
ISN 0158      DO 230 LT=1,NT
ISN 0159      IF(T(LT).LT,TEND) GOTO 230
ISN 0161      LS=LT
ISN 0162      IPL=3
ISN 0163      GOTO 235
ISN 0164      230 CONTINUE

C
ISN 0165      235 DO 260 LT=NTA,NT

```

```

ISN 0166      CALL PHIX (PHI,I,X,U,PHIST,GSIGMA,M,ZO,ZI,
               *      F,T,TA,TE,LIRE,GL,GR,NI,N,LT)
ISN 0167      Q(LT)=0.00
ISN 0168      DO 240 J=1,N
ISN 0169      240 Q(LT)=Q(LT)+(((J,LT)-IST(J))/IST(J))**2+
               *      ((X(J,LT)-XST(J))/XST(J))**2
ISN 0170      PMN(1,LT)=(PHI(NH1,LT)-PHIST(NH1))/2.00
ISN 0171      PMN(2,LT)=PMN(1,LT)
ISN 0172      DO 250 J=1,NH
ISN 0173      JJ=NH1+J
ISN 0174      PMN(1,LT)=PMN(1,LT)+PHI(J,LT)-PHIST(J)
ISN 0175      250 PMN(2,LT)=PMN(2,LT)+PHI(JJ,LT)-PHIST(JJ)
ISN 0176      260 CONTINUE
ISN 0177      IF(IPL0T) CALL DRUCK (O,QMAXPL,PMN,PMAXPL,T,TA,TE,LIRE)

C
C      * DATENSPEICHERUNG *
C      -----
C
ISN 0179      300 DO 320 LT=1,LS
ISN 0180      TT(KPLOT+LT)=T(LT)
ISN 0181      QQ(KPLOT+LT)=Q(LT)
ISN 0182      PNK1(KPLOT+LT)=PHI(K1,LT)-PHIST(K1)
ISN 0183      PNK2(KPLOT+LT)=PHI(K2,LT)-PHIST(K2)
ISN 0184      TPLOT=T(LT)
ISN 0185      WRITE(10) TPLOT
ISN 0186      DO 320 KT=1,4
ISN 0187      DO 310 J=1,N
ISN 0188      IF(KT.EQ.1) FPL0T(J+1)=U(J,LT)
ISN 0190      IF(KT.EQ.2) FPL0T(J+1)=I(J,LT)-IST(J)
ISN 0192      IF(KT.EQ.3) FPL0T(J+1)=X(J,LT)-XST(J)
ISN 0194      IF(KT.EQ.4) FPL0T(J+1)=PHI(J,LT)-PHIST(J)
ISN 0196      310 CONTINUE
ISN 0197      320 WRITE(10) (FPL0T(J),J=1,NP2)
ISN 0198      KPLOT=KPLOT+LS
ISN 0199      IF(IPL.EQ.3) GOTO 345

C
ISN 0201      T(1)=T(LS+1)
ISN 0202      DO 330 LT=2,NT
ISN 0203      330 T(LT)=T(LT-1)+DTH
ISN 0204      DO 340 J=1,N
ISN 0205      PHI(J,1)=PHI(J,LS+1)
ISN 0206      I(J,1)=I(J,LS+1)
ISN 0207      X(J,1)=X(J,LS+1)
ISN 0208      340 U(J,1)=U(J,LS+1)
ISN 0209      Q(1)=Q(LS+1)
ISN 0210      PMN(1,1)=PMN(1,LS+1)
ISN 0211      PMN(2,1)=PMN(2,LS+1)

C
ISN 0212      GOTO (65,115),IPL
ISN 0213      345 CONTINUE

C
ISN 0214      WRITE(9) NP2
ISN 0215      WRITE(9) KPLOT
ISN 0216      WRITE(9) (XPL0T(J),J=1,NP2)

C
ISN 0217      CALL KURVEF (TT,00,KPLOT,104)
ISN 0218      CALL KURVEF (TT,00,KPLOT,104)
ISN 0219      CALL KURVEF (TT,PNK1,KPLOT,101)
ISN 0220      CALL KURVEF (TT,PNK2,KPLOT,104)

C
ISN 0221      999 RETURN
C
C

```

```

ISN 0222      610 FORMAT ('1'//50X'XENON'/49X,7('='),6(/),
      *          47X,'EINGABEDATEN'/46X,14('-'),4(/),
      *          25X,'F = ',1PD12.5,T55,'GNULL = ',1PD12.5//
      *          25X,'H = ',0PF7.2,T55,'L1 = ',13//
      *          25X,'N = ',13,T55,'L2 = ',13//
      *          25X,'TANF = ',0PF7.2,T55,'K1 = ',13//
      *          25X,'TEND = ',0PF7.2,T55,'K2 = ',13)
ISN 0223      620 FORMAT ('1'//45X,'STATIONAERE WERTE'/44X,19('='))//18X,'PHI',
      *          13X,'I',14X,'X',12X,'SIGMA',11X,'GL',13X,'GR'/)
ISN 0224      630 FORMAT ((5X,13,2X,6(3X,1PD12.5)))
ISN 0225      640 FORMAT ('1'//47X,'ANFANGSWERTE'/46X,14('='))//
      *          36X,'PHI',13X,'I',14X,'X'/)
ISN 0226      650 FORMAT ((23X,13,2X,3(3X,1PD12.5)))
ISN 0227      660 FORMAT ('1')
ISN 0228      670 FORMAT (5X,12,'.REGELUNG',6X,'TOMAX = ',2PD12.5,3X,
      *          'OMAX = ',1PD12.5,6X,'TM = ',2PD12.5,3X,'TI = ',1PD12.5/)
C
ISN 0229      END

```

```

ISN 0002      SUBROUTINE TSORT (T,TA,TE)
ISN 0003      REAL*8 T(61),TA,TE,TT(2)
ISN 0004      NT=61
ISN 0005      TT(1)=TA
ISN 0006      TT(2)=TE
ISN 0007      DO 30 I=1,2
ISN 0008          DO 10 J=1,NT
ISN 0009              IND=J+1
ISN 0010              IF(TT(I)-T(J)) 5,30,10
ISN 0011      10      CONTINUE
ISN 0012      5        DO 20 J=IND,NT
ISN 0013      20      T(NT+IND-J)=T(NT+IND-J-1)
ISN 0014          T(IND-1)=TT(I)
ISN 0015      30      CONTINUE
C
ISN 0016      RETURN
ISN 0017      END

```

```

ISN 0002      SUBROUTINE PHIX (PHI,I,X,U,PHIST,GSIGMA,M,ZO,ZI,
*             F,T,TA,TE,LIRE,GL,GR,N1,N,LT)
ISN 0003      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0004      REAL*8 I,IP,M,NUE
ISN 0005      DIMENSION PHI(N1,61),I(N1,61),X(N1,61),T(61),
*             U(N1,61),PHIST(N1),GSIGMA(N1),GL(N1),GR(N1)
ISN 0006      DIMENSION M(N1,N1),ZO(N1),ZI(N1)
ISN 0007      COMMON NUE,SIGMA,C1,CX,YI,YX,D,H

C
C
ISN 0008      LTM=LT-1
ISN 0009      DELTAT=(T(LT)-T(LT-1))*3600.
ISN 0010      K1=0
ISN 0011      K2=0
ISN 0012      IF(T(LT),LT,TA,OR,T(LT),GE,TE) GOTO 5
ISN 0014      IF(LIRE) 1,5,2
ISN 0015      1 K1=1
ISN 0016      GOTO 5
ISN 0017      2 K2=1

C
ISN 0018      5 DO 10 J=1,N
ISN 0019      IP=YI*F*PHI(J,LTM)-C1*I(J,LTM)
ISN 0020      XP=YX*F*PHI(J,LTM)+C1*I(J,LTM)-CX*X(J,LTM)-
*             SIGMA*X(J,LTM)*PHI(J,LTM)
ISN 0021      I(J,LT)=I(J,LTM)+IP*DELTAT
ISN 0022      X(J,LT)=X(J,LTM)+XP*DELTAT
ISN 0023      U(J,LT)=K1*GL(J)+K2*GR(J)
ISN 0024      ZO(J)=0.
ISN 0025      DO 10 JJ=1,N
ISN 0026      10 M(J,JJ)=0.
ISN 0027      ZO(1)=1.
ISN 0028      NM1=N-1
ISN 0029      DO 20 J=1,NM1
ISN 0030      M(J,J+1)=-D/(H*M*NUE*F)
ISN 0031      M(J+1,J)=M(J,J+1)
ISN 0032      20 M(J,J)=(GSIGMA(J)+SIGMA*X(J,LT)+U(J,LT)+2.*D/H/H1/INUE*F)
ISN 0033      MIN,N1=(GSIGMA(N1)+SIGMA*X(N,LT)+U(N,LT)+2.*D/H/H1/INUE*F)
ISN 0034      CALL MATINV (M,N1,N)
ISN 0035      CALL MISES (M,N1,N,ZO,ZI,EW,1,D-05,IT)
ISN 0036      CM1=0.00
ISN 0037      CM2=0.00
ISN 0038      DO 30 J=1,N
ISN 0039      CM1=CM1+PHIST(J)
ISN 0040      30 CM2=CM2+ZI(J)
ISN 0041      DO 40 J=1,N
ISN 0042      40 PHI(J,LT)=ZI(J)*CM1/CM2

C
ISN 0043      RETURN
ISN 0044      END

```

```

ISN 0002      SUBROUTINE MATINV (A,N1,N)
ISN 0003      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0004      DIMENSION A(N1,N1)
ISN 0005      DO 40 K=1,N
ISN 0006      AH=1./A(K,K)
ISN 0007      DO 10 J=1,N
ISN 0008 10    A(K,J)=A(K,J)*AH
ISN 0009      DO 30 I=1,N
ISN 0010      IF(I.EQ.K) GOTO 30
ISN 0012      AH1=A(I,K)
ISN 0013      DO 20 J=1,N
ISN 0014 20    A(I,J)=A(I,J)-A(K,J)*AH1
ISN 0015      A(I,K)=-AH1*AH
ISN 0016 30    CONTINUE
ISN 0017 40    A(K,K)=AH
ISN 0018      RETURN
ISN 0019      END

```

```

ISN 0002      SUBROUTINE MISES (A,N1,N,Z0,Z1,LAMBDA,EPS,IT)
ISN 0003      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0004      REAL*8 LAMBDA
ISN 0005      DIMENSION A(N1,N1),Z0(N1),Z1(N1)
ISN 0006      F=0.
ISN 0007      DO 10 I=1,N
ISN 0008 10    F=F+Z0(I)*Z0(I)
ISN 0009      F=DSQRT(F)
ISN 0010      DO 20 I=1,N
ISN 0011 20    Z0(I)=Z0(I)/F
ISN 0012      IT=0
ISN 0013      1 IT=IT+1
ISN 0014      F=0.
ISN 0015      DO 40 I=1,N
ISN 0016      S=0.
ISN 0017      DO 30 K=1,N
ISN 0018 30    S=S+A(I,K)*Z0(K)
ISN 0019      F=F+S*S
ISN 0020 40    Z1(I)=S
ISN 0021      F=DSQRT(F)
ISN 0022      ZMAX=0.
ISN 0023      DO 50 I=1,N
ISN 0024      Z1(I)=Z1(I)/F
ISN 0025 50    ZMAX=DMAX1(DABS(Z1(I)),ZMAX)
ISN 0026      DO 70 I=1,N
ISN 0027      IF(DABS(Z1(I)-Z0(I)).LE.ZMAX*EPS) GOTO 70
ISN 0029      DO 60 K=1,N
ISN 0030 60    Z0(K)=Z1(K)
ISN 0031      GOTO 1
ISN 0032 70    CONTINUE
ISN 0033      LAMBDA=0.
ISN 0034      DO 80 I=1,N
ISN 0035      DO 80 K=1,N
ISN 0036 80    LAMBDA=LAMBDA+Z1(I)*A(I,K)*Z1(K)
ISN 0037      RETURN
ISN 0038      END

```

```

ISN 0002      SUBROUTINE DRUCK (O,OMAXPL,PMN,PMAXPL,T,TA,TE,LIRE)
ISN 0003      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0004      LOGICAL*1 CHAR(81),NULL/'.'/,BLANK/'.'/,PLOT/'S'/.PLOTL/'-'/,
      * PLOTR/'+'/.DOP/'O'/.REGL/'L'/.REGR/'R'/.RL,RR,EXOR,§1,§2
ISN 0005      DIMENSION O(61),T(61),PMN(2,61)
ISN 0006      EXOR(§1,§2)=§1.AND..NOT.§2.OR.§2.AND..NOT.§1
ISN 0007      NT=61
ISN 0008      AR=80.00/OMAXPL
ISN 0009      WRITE(6,610)
ISN 0010      610 FORMAT(9X,'T',14X,'O'/)
ISN 0011      DO 20 LT=1,NT
ISN 0012      RL=BLANK
ISN 0013      RR=BLANK
ISN 0014      IF(T(LT).LT.TA.OR.T(LT).GT.TE) GOTO 5
ISN 0016      IF(LIRE) 1,5,2
ISN 0017      1 RL=REGL
ISN 0018      GOTO 5
ISN 0019      2 RR=REGR
ISN 0020      5 CHAR(1)=NULL
ISN 0021      DO 10 J=2,81
ISN 0022      10 CHAR(J)=BLANK
ISN 0023      Y=AR*O(LT)
ISN 0024      J=MINO(IDINT(Y+0.500),80)
ISN 0025      CHAR(J+1)=PLOT
ISN 0026      WRITE(6,620) T(LT),O(LT),RL,RR,CHAR
ISN 0027      620 FORMAT (5X,F8.3,5X,1PD12.5,5X,A1,A1,81A1)
ISN 0028      20 CONTINUE
ISN 0029      AR=40.00/PMAXPL
ISN 0030      WRITE(6,630)
ISN 0031      630 FORMAT ('1',5X,'T',9X,'VL (-)',9X,'VR (+)'/)
ISN 0032      DO 50 LT=1,NT
ISN 0033      RL=BLANK
ISN 0034      RR=BLANK
ISN 0035      IF(T(LT).LT.TA.OR.T(LT).GT.TE) GOTO 29
ISN 0037      IF(LIRE) 27,29,28
ISN 0038      27 RL=REGL
ISN 0039      GOTO 29
ISN 0040      28 RR=REGR
ISN 0041      29 DO 30 J=1,81
ISN 0042      30 CHAR(J)=BLANK
ISN 0043      CHAR(41)=NULL
ISN 0044      DO 40 K=1,2
ISN 0045      Y=AR*PMN(K,LT)
ISN 0046      IF(Y.GE.0.00) J=MINO(IDINT(DABS(Y)+0.500),40)
ISN 0048      IF(Y.LT.0.00) J=MAXO(-IDINT(DABS(Y)+0.500),-40)
ISN 0050      IF(K.EQ.2) GOTO 35
ISN 0052      CHAR(40+J+1)=PLOTL
ISN 0053      GOTO 40
ISN 0054      35 IF(.NOT.EXOR(CHAR(40+J+1),PLOTL)) GOTO 36
ISN 0056      CHAR(40+J+1)=PLOTR
ISN 0057      GOTO 40
ISN 0058      36 CHAR(40+J+1)=DOP
ISN 0059      40 CONTINUE
ISN 0060      WRITE(6,640) T(LT),PMN(1,LT),PMN(2,LT),RL,RR,CHAR
ISN 0061      640 FORMAT (2X,F8.3,3X,1PE12.5,3X,1PE12.5,3X,A1,A1,81A1)
ISN 0062      50 CONTINUE
ISN 0063      RETURN
ISN 0064      END

```



```

ISN 0002      SUBROUTINE SPLINE (Q,T,QMAX,TQMAX,LT)
ISN 0003      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ISN 0004      REAL*8 M
ISN 0005      DIMENSION Q(61),T(61),X(5),Y(5),M(5),D(3,5)
ISN 0006      NT=61
ISN 0007      N=5
ISN 0008      DO 10 I=1,N
ISN 0009      X(I)=T(LT+I-3)
ISN 0010      10 Y(I)=Q(LT+I-3)
ISN 0011      D(1,1)=2.00
ISN 0012      M(1)=0.00
ISN 0013      M(N)=0.00
ISN 0014      D(3,1)=0.00
ISN 0015      D(2,1)=0.00
ISN 0016      DX2=X(2)-X(1)
ISN 0017      DY2=(Y(2)-Y(1))/DX2
ISN 0018      NM1=N-1
ISN 0019      DO 20 I=2,NM1
ISN 0020      DX1=DX2
ISN 0021      DY1=DY2
ISN 0022      DX2=X(I+1)-X(I)
ISN 0023      DY2=(Y(I+1)-Y(I))/DX2
ISN 0024      DDX=DX1+DX2
ISN 0025      D(2,I)=DX2/DDX
ISN 0026      D(1,I)=1.00-D(2,I)
ISN 0027      D(3,I)=6.00*(DY2-DY1)/DDX
ISN 0028      20 CONTINUE
ISN 0029      DO 30 I=2,NM1
ISN 0030      J=I-1
ISN 0031      FAC=D(1,1)/D(1,J)
ISN 0032      D(3,I)=D(3,1)-FAC*D(3,J)
ISN 0033      D(1,I)=2.00-D(2,J)*FAC
ISN 0034      30 CONTINUE
ISN 0035      DO 40 I=2,NM1
ISN 0036      J=N-I+1
ISN 0037      M(J)=(D(3,J)-D(2,J)*M(J+1))/D(1,J)
ISN 0038      40 CONTINUE
ISN 0039      SW=0.12500
ISN 0040      QMAX=0.00
ISN 0041      TQMAX=T(LT+1-3)
ISN 0042      DO 50 I=1,33
ISN 0043      XA=X(I)+(-1)*SW
ISN 0044      DO 50 K=2,N
ISN 0045      IF(XA.GT.X(K)) GOTO 50
ISN 0046      J=K-1
ISN 0047      GOTO 45
ISN 0048      50 CONTINUE
ISN 0049      J=N-1
ISN 0050      45 H=X(J+1)-X(J)
ISN 0051      YA=1(Y(J+1)-M(J+1))*H**2/6.00+M(J+1)/6.00*
ISN 0052      * (XA-X(J))**2+1(XA-X(J))*(Y(J)-M(J))*H**2/6.00+
ISN 0053      * M(J)/6.00*(X(J+1)-XA)**2+1(X(J+1)-XA)/H
ISN 0054      IF(YA.LE.QMAX) GOTO 60
ISN 0055      QMAX=YA
ISN 0056      TQMAX=XA
ISN 0057      60 CONTINUE
ISN 0058      RETURN
ISN 0059      END

```

STMT LEVEL NEST

```

1      DROM:PROC OPTIONS(MAIN);
2      1      OCL (DS9,DS10) RECORD;
3      1      OCL 1 DMPARM,
              2 (BITA,BITX,BITY,BITZ) BIT(8),
              2 (PHI,THETA,BREITE) FLOAT(6),
              2 RETCODE BIN FIXED(31),
              2 (XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ZMIN,ZMAX) FLOAT(6),
              2 (LBX,HBX,LBY,HBY) BIN FIXED(31);
4      1      OCL (N,NT,LT,J,NANZ,IZ,IP,LIES) BIN FIXED(31);
5      1      OCL (PDOM,PCALIN,PCALEND,PSYMBL,PCALCMP,PFRAMAD) ENTRY;
              /* */
6      1      IZ=0; IP=3; NANZ=10;
9      1      OPEN FILE(DS9) INPUT;
10     1      READ FILE(DS9) INTO(N); READ FILE(DS9) INTO(NT);
              /* */
12     1      CALL PCALIN (OE0.7.4EO);
              /* */
13     1      BEGIN;
14     2      OCL (X(0:N-1),T(NT),TAB(0:N-1,NT),F(0:N-1,T)) FLOAT(6);
15     2      READ FILE(DS9) INTO(X);
16     2      CLOSE FILE(DS9);
              /* */
17     2      DO LIES=1 TO 4;
18     2      1      OPEN FILE(DS10) INPUT;
19     2      1      ZMIN,ZMAX=OE0;
20     2      1      DO LT=1 TO NT;
21     2      2      READ FILE(DS10) INTO(T1); T(LT)=T1;
22     2      2      DO J=1 TO LIES;
23     2      2      1      READ FILE(DS10) INTO(F);
24     2      2      1      END;
25     2      2      DO J=0 TO N-1;
26     2      2      1      TAB(J,LT)=F(J);
27     2      2      1      ZMIN=MIN(F(J),ZMIN); ZMAX=MAX(F(J),ZMAX);
28     2      2      1      END;
29     2      2      DO J=LIES+1 TO 4;
30     2      2      1      READ FILE(DS10) INTO(F);
31     2      2      1      END;
32     2      2      END;
33     2      2      CLOSE FILE(DS10);
34     2      2      BITA='10000000'B; BITX,BITY,BITZ='00000000'B;
35     2      1      XMIN=X(0); XMAX=X(N-1); LBX=0; HBX=N-1;
36     2      1      YMIN=T(1); YMAX=T(NT); LBY=1; HBY=NT;
37     2      1      PHI=3OE0; THETA=45EO; BREITE=13EO;
38     2      1      IF LIES=1 THEN DO; PHI=45EO; ZMAX=ZMAX+2EO; END;
39     2      1      CALL PCALCMP (4EO.2.OEO.IZ,IP);
40     2      1      CALL PDOM (DMPARM,TAB,X,T);
41     2      1      PUT SKIP(2) DATA (RETCODE);
42     2      1      IF LIES=1 THEN
43     2      1      1      CALL PSYMBL (1EO,-1.2EO.0.2EO,'U'          '.OE0,NANZ);
44     2      1      1      IF LIES=2 THEN
45     2      1      1      1      CALL PSYMBL (1EO,-1.2EO.0.2EO,'I' - I=          '.OE0,NANZ);
46     2      1      1      1      IF LIES=3 THEN
47     2      1      1      1      1      CALL PSYMBL (1EO,-1.2EO.0.2EO,'X' - X=          '.OE0,NANZ);
48     2      1      1      1      1      IF LIES=4 THEN
49     2      1      1      1      1      1      CALL PSYMBL (1EO,-1.2EO.0.2EO,'PHI' - PHI=          '.OE0,NANZ);
50     2      1      1      1      1      IF LIES < 4 THEN CALL PFRAMAD;
51     2      1      1      END;
52     2      1      END;
53     2      1      /* */
54     1      CALL PCALEND;
55     1      END DROM;

```

## Literaturverzeichnis

- [1] Hanke, W.  
Xenonschwingungen und ihre Regelung bei großen Leistungsreaktoren  
Bericht der KFA Jülich: Jül-1054-MA, 1974
  
- [2] Hanke, W.  
Zur optimalen Regelung von Xenonschwingungen großer Leistungsreaktoren  
Bericht der KFA Jülich: Jül-1222, 1975
  
- [3] Zurmühl, R.  
Praktische Mathematik  
Springer, Berlin, 1965
  
- [4] Björck, A. und Dahlquist, G.  
Numerische Methoden  
R. Oldenbourg, München, Wien, 1972
  
- [5] IBM  
FORTRAN IV Language  
IBM Form C28-6515-6
  
- [6] IBM  
PL1 Language Reference Manual  
IBM Form C28-8201-2
  
- [7] Janicke, L.  
Graphische Software zum Mikrofilmplotter CALCOMP 1670  
Interner Bericht der KFA Jülich GmbH
  
- [8] IBM  
Job-Control-Language  
Order No. GC28-6704-3

Für die intensive Beratung und Unterstützung bei der Erstellung dieses Berichtes danke ich Herrn Dr. W. Hanke recht herzlich.